

**Universidad Nacional de La Plata**

**Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

**CARRERA DE MAGISTER SCIENTIAE EN MECANIZACIÓN AGRÍCOLA**



---

**“Eficiencia de implantación y requerimiento energético de diferentes sistemas de trenes de siembra”**

Tesis para acceder al grado de Magíster Scientiae

**Autor: Bondía Pedro Manuel**  
**Director: Balbuena Roberto H.**  
**Codirector: Vallejos Adrián G.**  
**Fecha: Diciembre de 2015**

## INDICE:

RESUMEN.....	6
SUMMARY .....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
Eficiencia de implantación.....	13
Eficiencia energética .....	18
HIPÓTESIS .....	28
Hipótesis fundamental.....	28
Hipótesis de trabajo .....	28
OBJETIVOS .....	29
Objetivo General .....	29
Objetivos específicos .....	29
MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
Materiales.....	30
Sitio experimental .....	30
Preparación del sitio experimental .....	31
Caracterización de las condiciones del suelo .....	31
Variables experimentales.....	32
Triple disco (TD) .....	32
Doble disco desencontrado (DD) .....	33
Monodisco (MD).....	34
Reja (R).....	35
Tractor.....	37
Equipo de siembra .....	37
Unidad de medición de fuerzas.....	38
Estructura del carro dinamométrico .....	38
Adquisidor de datos (Data logger) .....	40
Celdas de carga.....	44
Equipamiento para caracterización física del suelo y la profundidad de siembra. .....	46
Densidad y humedad de suelo.....	46
Resistencia a la penetración .....	47

Profundidad de siembra .....	47
Métodos .....	48
Implantación, humedad de surco y profundidad de siembra.....	50
Profundidad de la semilla en la siembra .....	51
Humedad de surco.....	51
Implantación.....	51
Caracterización física de suelo .....	53
Humedad de suelo.....	53
Esfuerzo de tracción y carga vertical .....	53
Análisis estadístico.....	53
Resultados y Discusión. ....	55
Ensayos de implantación de cultivo de trigo. ....	55
Humedad .....	55
Emergencia.....	60
Profundidad de siembra .....	66
Ensayo energético .....	71
Velocidad de trabajo .....	71
Carga vertical.....	73
Esfuerzo de Tracción .....	79
Potencia .....	90
Variabilidad de los esfuerzos de tracción y de las cargas verticales.....	97
Conclusiones .....	106
Bibliografía.....	108

## Indice de Figuras:

Figura 1: Partidos pertenecientes a la región del sudoeste Bonaerense .....	10
Figura 2: Tren de siembra triple disco.....	32
Figura 3: Tren de siembra triple disco.....	33
Figura 4: Tren de siembra doble disco.....	34
Figura 5: Tren de siembra monodisco.....	35
Figura 6: Tren de siembra de reja alada. ....	36
Figura 7: Vista frontal de la reja del abresurco del tren de siembra de reja alada.....	36
Figura 8: Unidad de siembra. ....	38
Figura 9: Carro dinamométrico.....	39
Figura 10: Carro Dinamométrico .....	40
Figura 11: Vista posterior del sistema adquirente de datos .....	41
Figura 12: Esquema de integración de los componentes del adquirente de datos.....	42
Figura 13: Vista del interior del adquirente de datos. ....	43
Figura 14: Banco de prueba.....	43
Figura 15: Celda de carga.....	44
Figura 16: Estructura horizontal. ....	45
Figura 17: Estructura vertical.....	46
Figura 18: Mapa de densidad aparente $\text{g.cm}^{-3}$ y de humedad gravimétrica % .....	48
Figura 19: Muestreo de profundidad de siembra. ....	51
Figura 20: Distribución de los bloques en el diseño experimental. ....	54
Figura 21: Humedad gravimétrica .....	55
Figura 22: Distribución de la humedad gravimétrica.....	56
Figura 23: Humedad gravimétrica del surco de los distintos trenes de siembra .....	57
Figura 24: Humedad gravimétrica del suelo.....	62
Figura 25: Emergencia de los distintos trenes de siembras ensayados.....	64
Figura 26: Fuerza requerida (KN) para la penetración .....	73
Figura 27: Esfuerzo de tracción para los distintos tratamientos .....	79
Figura 28: Surco generado por el tren de siembra R.....	82



Figura 29: Esquema de una cuchilla circular .....	86
Figura 30: Regresión entre esfuerzos de tracción y demanda de carga vertical para una cuchilla a una velocidad de 7,2 km/h.....	88
Figura 31: Regresión entre esfuerzos de tracción y demanda de carga vertical para una cuchilla a una velocidad de 5,8 km/h.....	89
Figura 32: Demanda de potencia (kW) para los distintos trenes de siembra .....	90
Figura 33: Demanda de potencia (kW) por línea de siembra, para el tratamiento DD en función de la carga vertical .....	93
Figura 34: Demanda de carga y de esfuerzos de tracción (kN) para la cuchilla labradora y el abresurco del TD. ....	99
Figura 35: (a) Relación entre la demanda de carga y de esfuerzo de tracción (kN) para el abresurco del TD en el muestreo. (b) Relación entre la demanda de carga y de esfuerzos de tracción (kN) para la cuchilla labradora del TD en el muestreo. ....	99
Figura 36: Demanda de carga y de esfuerzos de tracción (kN) para la cuchilla labradora y el abresurco de R . ....	101
Figura 37 a: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), la cuchilla labradora del tren de siembra R; b: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), para el abresurco del tren de siembra R. ....	102
Figura 38: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), del tren de siembra MD.	103
Figura 39: Demanda de carga vertical y de esfuerzos de tracción (kN) para el tren de siembra MD en una sección de muestreo. ....	103
Figura 40: Demanda de carga vertical y de esfuerzos de tracción para el tren de siembra DD en una sección de muestreo. ....	104
Figura 41: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), del tren de siembra DD.	105

## Indice de Tablas:

Tabla 1: Especificaciones técnicas de celdas de carga.....	44
Tabla 2: Humedad gravimétrica de los diferentes abresurcos.....	58
Tabla 3: Emergencia de los distintos trenes de siembra. ....	60
Tabla 4: Regresión de la humedad y la profundidad para cada tren de siembra .....	61
Tabla 5: Profundidad de siembra y profundidad de surco .....	67
Tabla 6: Velocidad media de trabajo .....	72
Tabla 7: Demanda de esfuerzos de tracción.....	87
Tabla 8: Cálculos de requerimientos de potencia/línea de trabajo. ....	96
Tabla 9: Demanda de esfuerzos de tracción y de carga vertical (kN), TD .....	98
Tabla 10: Demanda esfuerzo de tracción y de carga vertical (kN), R .....	100
Tabla 11: Demanda de esfuerzo de tracción y de carga vertical (kN), MD. ....	102
Tabla 12: Esfuerzos de tracción y de carga vertical (kN), DD. ....	104

## RESUMEN:

La siembra directa de cultivos es el sistema de producción predominante en la República Argentina para la implantación de cultivos extensivos. Las máquinas sembradoras utilizadas para ello muestran una llamativa uniformidad en la constitución de sus órganos, mecanismos y sistemas de trabajo, pese a la diversidad de suelos, características texturales, estructurales y condiciones de residuos remanentes al momento de siembra. El sistema de tren de siembra de triple disco es en la actualidad el de mayor difusión y constituye el equipamiento estándar de prácticamente la totalidad de las máquinas sembradoras, siendo la excepción la utilización de Doble disco y Monodisco. Sin embargo, no existen mayores antecedentes que avalen el uso del Triple disco en diferentes condiciones y regiones, fuera del reconocimiento de su mayor aptitud para el corte de residuos de cosecha y son menores aún en los aspectos referentes a los requerimientos energéticos vinculados a esfuerzo de tracción, potencia insumida y masa necesaria para la penetración del equipo. En función de ello, se realizaron ensayos en campo con el objeto de evaluar la eficiencia de implantación de un cultivo de trigo, de cuatro sistemas de trenes de siembra distintos y los requerimientos energéticos de cada uno de ellos en las condiciones de trabajo establecidas en la región del Sudoeste de la Pcia de Buenos Aires. El ensayo se llevó a cabo en un predio productivo ubicado en el partido de Coronel Rosales sobre un suelo Argiustol típico, con textura franca con una secuencia de cultivos de avena, trigo y sorgo en el último trienio. Se utilizaron trenes de siembra de Triple Disco (TD), Doble Disco (DD), Monodisco (MD) y un tren de cuchilla circular y Reja alada (R) especialmente fabricado para dichos ensayos. En relación con la implantación del cultivo se determinó la tasa de emergencia, la emergencia final y se midió la profundidad de trabajo para la determinación del grado de uniformidad de siembra a través del coeficiente de variación (CVar). Para la evaluación de la energía requerida por cada sistema de siembra se desarrolló un carro dinamométrico, compuesto por 2 módulos independientes que permiten cada uno de ellos la medición de la demanda de esfuerzo de tiro y de carga vertical, de los componentes principales del tren. Los esfuerzos fueron cuantificados por medio de celdas de carga con una capacidad de 4,9 kN. La velocidad de desplazamiento del conjunto fue establecida a partir de un

sensor de inducción ubicado sobre una de las ruedas del carro dinamométrico. A partir de los valores de velocidad y esfuerzo de tracción se calculó la potencia insumida por cada diseño. Los ensayos de eficiencia de implantación no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, alcanzando valores de 29,9, 30,8 31,8 pl m<sup>-1</sup> para MD, R y TD y solamente 17, 3 pl m<sup>-1</sup> para DD, correspondiendo a R la mayor velocidad de emergencia y al DD la menor. La profundidad de siembra varió en promedio en el rango de 6,7 cm para R a 4,6 para MD, correspondiendo al TD la mayor uniformidad y a R la menor. A nivel de esfuerzo de tracción, se alcanzaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre todos los tratamientos, correspondiendo al TD los mayores valores con 2,04 kN y al MD los menores con 0,69 kN. En cuanto a la carga requerida para la penetración también fueron significativas las diferencias para todos los tratamientos, con 3,78, 2,58, 1,98 y 0,8 kN para TD, DD, MD y R respectivamente. El tren de siembra de Reja alcanza similar eficiencia de implantación que los de discos con una mayor velocidad de emergencia, requiriendo a la vez menos masa para la penetración del conjunto que el resto de los sistemas evaluados, lo cual permitiría la reducción del peso de las sembradoras utilizadas para la implantación de cultivos en la región semiárida del sudoeste bonaerense. En los sistemas de tren de siembra de discos, el Monodisco es el más eficiente en relación con la demanda de esfuerzo de tracción y requerimientos de carga para la penetración, por lo que constituye también una alternativa simple y de bajo costo para la implantación de trigo en la región. La fuerza requerida para la penetración de los equipos de discos supera a los esfuerzos de tracción del conjunto de tren de siembra y el aumento de la profundidad de trabajo de la cuchilla implica un incremento significativo de los requerimientos de peso y esfuerzo de tracción.

**Palabras clave:** abresurco; esfuerzo de tracción; carga vertical

## SUMMARY

No till is the main tillage system for extensive crop production in Argentina. Seeders used for this purpose shows a striking uniformity in the constitution of its components, mechanisms and work systems, despite the diversity of soils, textural and structural characteristics and surface residue in relation to crop rotation and environmental conditions. The triple disc furrow opener is the most used and is the standard equipment of almost seeders machines, with double and single disc opener being the exception. Although they are recognized for their great ability to cut crop residues, there are few records supporting the use of Triple disc in different conditions and regions and its energy requirements, traction effort, drawbar power and mass necessary for soil penetration. Field test were conducted in order to evaluate the planting efficiency of a wheat crop, using four different opener furrow and to compare the energy requirements of each system under the conditions established in the Southwest of Buenos Aires state. The trial was conducted in Coronel Rosales district (38° 46' 7.7"S - 61° 58' 29.07"W) on a typical Argiustol soil, thin, shallow, loamy textured with a crop sequence of oats, wheat and sorghum in the last three years. The opener furrows used were Triple Disc (TD), Double Disc (DD), Single disc (SD) and a specially designed opener formed by a rotary coulter with hoe drill (R). In relation to plant establishment, crop emergence rate and the final emergence were determined, while standard deviation and coefficient of variation (CVar) of seedling depth was measured to evaluate the uniformity degree of seed location. A dynamometer car consisting in 2 independent modules, each of them allowing the measurement of traction and vertical load of the main components of each planting system was developed. Traction-compression load cells with a capacity of 4.9 kN were used and speed was established by an induction sensor located on one of dynamometer car wheels. Drawbar Power was calculated by each design from speed and pull values. The sowing efficiency tests showed no significant differences between MD, R, TD and DD treatments, reaching values of 29.9, 30.8, 31.8 and 17, 3 pl m<sup>-1</sup> respectively; the greater emergency speed corresponded to R and the lowest to DD. Seed depth varied on average in the range of 67 mm for R up to 46 mm for MD, corresponding to TD the greatest uniformity and to R the lowest. In relation to traction effort, significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among all treatments were

achieved, corresponding to TD the highest values with 2,04 kN and to MD the lowest values with 0,69 kN, which implies that MD requires only a 34% of the TD demand. Load requirements for penetration were also significantly different for all treatments, with 3.78, 2.58, 1.98 and 0.8 kN for TD, DD, MD and R respectively. The hoe drill (R) reaches similar planting efficiency values to disc furrow openers, but showed higher emergency speed while requiring less mass to achieve the set penetration when compared to disc systems. So, no till seeders weight may be reduced for planting winter crops in southwest semiarid region of Buenos Aires state. Single disc is the most efficient furrow opener between discs sowing train systems, in relation to pull and load requirements for penetration, being also a simple and inexpensive feasible alternative to wheat implantation in the region. Load requirements by disc equipment for penetration exceed the traction effort of the opener furrow set. The increment on working depth of rotary coulters involves a significant increase in the requirements of weight and traction effort of the seedling unit.

Keywords: furrow opener; drawbar pull; vertical load

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la agricultura en la Argentina es de gran magnitud en términos económicos y extensión de áreas cultivadas.

La zona agrícola por excelencia comprende la región templada conocida como Pampa Húmeda y se extiende a la zona semiárida donde las precipitaciones son más escasas y la estacionalidad climática es más marcada (Morello & Solbrig, 1997). En esta última región, que abarca aproximadamente una superficie de 700.000 km<sup>2</sup>, el clima condiciona fuertemente la producción agropecuaria, en función de las relaciones entre temperatura, precipitaciones y viento (Aimar et al.2003).

En la provincia de Buenos aires el 25% de la superficie pertenece a la región del Sudoeste Bonaerense, con regiones semiáridas, árida y subhúmeda-seca y características climáticas y edáficas que la diferencian del resto en cuanto a sus potencialidades y limitantes (Fundamento de ley sudoeste 13647, 2007). Representa el 11% de la superficie semiárida del país (Andrade et al., 2009). En dicha zona se contabilizan cerca de 8.000 explotaciones agropecuarias (Ministerio de Economía Pcia. Bs.As., 2002), de las cuales alrededor de 5.000 tienen entre 0 y 500 hectáreas de superficie. La región del sudoeste bonaerense (Figura 1) se encuentra representada por los partidos de Guaminí, Adolfo Alsina, Coronel Suárez, Coronel Pringles, Coronel Dorrego, Saavedra, Tornquist, Puán, Coronel Rosales, Bahía Blanca, Villarino y Patagones (Andrade et al, 2009).

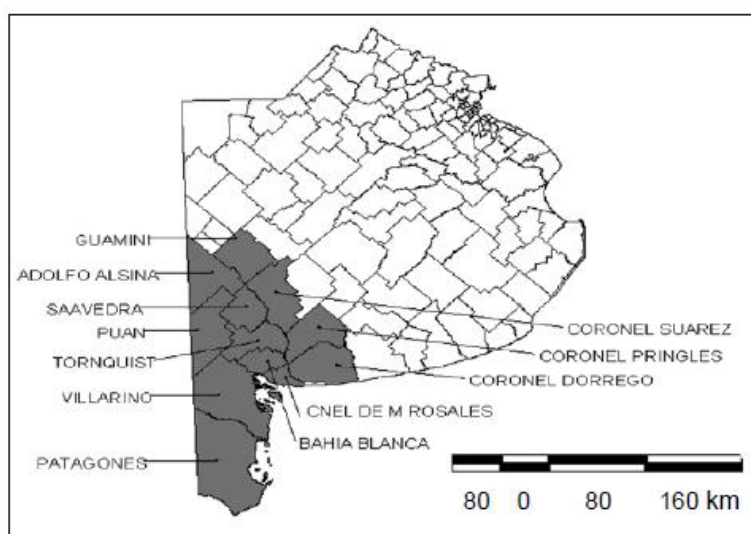


Figura 1: Partidos pertenecientes a la región del sudoeste Bonaerense.

Tradicionalmente, los campos de esta región se dedicaban a ganadería y agricultura de manera rotativa. Sin embargo, en las últimas décadas, las explotaciones se transformaron casi exclusivamente en sistemas agrícolas. Como resultado de este cambio, se produjeron pérdidas de la calidad de los suelos, principalmente por erosión y disminución del contenido de materia orgánica a causa del aumento de la frecuencia del laboreo con remoción intensa del suelo (Díaz-Zorita et al., 2004). Si bien dicho análisis se circunscribe a lo acontecido en el oeste bonaerense, a nivel del sudoeste bonaerense el problema es similar, pero los sistemas de labranza se basan principalmente en el trabajo con arados rastras y rastras de discos, dejando el suelo al momento de la siembra prácticamente desnudo, promoviendo una degradación acelerada del mismo.

Silenzi et al., (2009) han cuantificado el impacto de uso excesivo e inadecuado de la agricultura en la región, mencionando que para el caso del partido de Patagones, de 222620 has cosechadas de trigo, en promedio por año, el 69% se encuentran erosionadas por viento. Una situación similar ocurre en los partidos de Villarino y Púan, en tanto que Coronel Dorrego presenta un 28% de la superficie cosechada de trigo afectada por erosión eólica.

Debido al cambio de sistemas de siembra, nuevas variedades, aplicación de nuevas técnicas de cultivo, la agricultura se desplazó, en los últimos 30 años, a zonas más marginales, como el sudoeste bonaerense. Como consecuencia de ello se produjeron cambios que impactaron en aspectos económicos, sociales y ambientales (Campo et al., 2012).

Dentro de la producción agrícola de secano en el sudoeste bonaerense de la provincia de Buenos Aires, el principal cultivo de cosecha es el trigo (Ron & Loewy, 1990) y el clima es sin duda una de las principales fuentes de variabilidad y riesgo, condicionando la asignación de recursos y tecnología a los cultivos. Dentro de los aspectos climáticos, son las precipitaciones y su variabilidad, el factor que genera más incertidumbre en la producción agropecuaria (Sebalt, 2002). El sudoeste bonaerense se encuentra comprendido entre las isohietas de 400 y 700 mm, y predominan los suelos Haplustoles y Argiustoles al oeste y Hapludoles y Argiudoles al este, (Ron & Loewy, 1990), con preponderancia del clima templado subhúmedo al norte de dicha región y un clima más árido-semiárido al sur (Glave, 1975). Tal como



se mencionó anteriormente, la variabilidad de las precipitaciones es un factor clave en la producción de dicha zona. Para el período 1929-1963 la frecuencia de años normalmente secos (con déficit de hasta el 20% de lluvia) es del 41,1% y de los años muy secos (superior a ese déficit) es de 23,5 %, (Miranda, 2010).

El déficit hídrico es el factor que más impacta sobre el rendimiento del cultivo, siendo resultado de dos componentes: el climático que determina el riesgo de que se produzcan anomalías hídricas (pluviométricas) y el manejo del suelo por parte del productor agropecuario (Casagrande et al., 2008). Las labranzas conservacionistas tienen el objetivo de proteger el suelo de la erosión y conservar agua para el posterior uso del cultivo disminuyendo los déficit hídricos, mediante la conservación de residuos de cultivos en superficie (Allen & Fenster, 1986). A través de ello, se logra una mejora en la sostenibilidad de los sistemas de producción, que depende principalmente de la conservación de la materia orgánica y de ser posible su incremento. (Díaz- Zorita et al. 2000)

Dados los aumentos en la proporción de suelos bajo prácticas agrícolas anuales mencionados anteriormente, los sistemas continuos de siembra directa constituyen la mejor alternativa económica para la producción agrícola y la conservación de la materia orgánica del suelo (Díaz-Zorita et al., 2000).

A principios de la década de 1990 comienza una fuerte difusión del sistema de siembra directa de cultivos entre los sistemas de labranzas conservacionistas como medida para contrarrestar la erosión del suelo, favorecer la capacidad de retención de agua a través de la cobertura superficial con rastrojos (Panigatti et al., 2001) y disminuir el gasto energético de la producción agropecuaria (Hetz & Barrios, 1997). En la actualidad, el 78,5 % de la zona productora conocida como pampa húmeda de la Argentina se encuentra cultivada en sistema de siembra directa. (Aapresid, 2012). En algunas ocasiones cuando se quieren comparar desde el punto de vista productivo diferentes sistemas, es difícil evaluar y comparar distintos sistemas de labranza, ya que los resultados en los sistemas conservacionistas se pueden ver muy fuertemente afectados por el mal control de malezas previo y/o por los pobres establecimientos de los cultivos (Tompkins, 1985).

## **Eficiencia de implantación**

Según Morrison (2002) el desempeño del sistema de siembra directa depende de varios factores relacionados con las condiciones de los cultivos, incluyendo el tipo de suelo, el diseño del abresurco y el cultivo sembrado. Por lo general, ello implica que la sembradora tiene que transitar sobre condiciones heterogéneas de suelo y de cobertura de rastrojo, dando como resultado una menor emergencia del cultivo (Morrison et al., 1996), lo cual limita según Tessier et al. (1991) el potencial de rendimiento. Soza et al., (2003) afirman también que la siembra directa alcanza una menor eficiencia de implantación que la siembra convencional.

En relación a ello, Maroni et al., (2005) definen como una buena siembra la que permita alcanzar el máximo rendimiento de los cultivos. Entienden que se define a la misma como aquella donde la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas es mínima, la separación entre ellas uniforme y el tiempo transcurrido para emerger es el mínimo para el conjunto de la población.

Para alcanzar los objetivos planteados anteriormente, interviene el trabajo del conjunto de elementos y órganos activos que se colocan en una máquina sembradora en la interacción suelo-máquina. En la República Argentina, se denomina habitualmente como “tren de siembra” al conjunto de elementos que interactúan y trabajan el suelo durante la labor de siembra.

Murray et al., (2006) indican que las funciones realizadas por el tren de siembra incluyen la apertura del surco, la colocación de la semilla, la cobertura del surco y el reafirmado de la cama de siembra. Además, cuando existen altos niveles de residuos en la superficie, se requieren dispositivos para cortar o manipular el suelo y los residuos. En algunos diseños, un componente del tren de siembra puede tener más de una función, tal como en los sistemas denominados monodisco, en los cuales un disco simple es el encargado de abrir el surco para la colocación de la semilla, cortar el suelo y los residuos presentes.

La totalidad de los órganos de trabajo del tren de siembra, pueden incluirse en 7 grupos funcionales que abarcan los elementos de corte del suelo y los residuos, de preparación del surco, de apertura del surco, de afirmado de la semilla, de cobertura

del surco y de afirmado de la cama de siembra de manera específica o de forma general, según el sistema de labranza utilizado.

Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre los efectos de los sistemas de trabajo de la sembradora, sobre la implantación del cultivo, se han centrado en los mecanismos de apertura del surco, pese a que el tren de siembra en su conjunto excede ampliamente al abresurco en la responsabilidad de lograr una correcta germinación, emergencia y establecimiento de los cultivos. Seguramente, la predominancia de los sistemas de labranza con intensa roturación del suelo previa al momento de siembra han influido sobre la dirección de los trabajos de investigación, hasta que la incorporación de la siembra directa sin labranza previa, con crecientes volúmenes de residuos, planteó nuevos problemas y condicionantes a la labor.

Al respecto, Fey et al., (2001) concluyen que la disminución en la emergencia no sólo obedece al sistema de labranza, sino que también es influenciada por el tipo de abresurco y los contenidos de agua en el suelo, siendo esta última causa la de mayor peso en la región semiárida. Similares conceptos son aportados por Wilkins et al., (1983) quienes indican además que la humedad del suelo y la uniformidad en la ubicación de la semilla resultan de importancia para alcanzar una adecuada germinación y emergencia en el cultivo de trigo.

En dicho sentido, Choudhary & Baker (1982) marcan la importancia del tipo de abresurco sobre la emergencia. Indican que los distintos tipos de abresurcos, generan diferentes condiciones edáficas alrededor de la semilla. En suelos relativamente secos, la emergencia principalmente depende de la capacidad de mantener una adecuada humedad relativa alrededor de la semilla. Similares resultados obtuvo Tessier (1991). Al respecto, Lindstrom (1976) señala al potencial mátrico del suelo, la temperatura y la profundidad de siembra como los factores más importantes que intervienen en el proceso de la germinación.

Baker et al., (2007) mencionan que los diferentes tipos de abresurcos presentan también diferencias de eficiencia en la implantación de cultivos en relación con la presencia de residuos a nivel superficial. Los mismos afectan tanto a la uniformidad en la profundidad de siembra, en función de los sistemas de copiado que los mismos presentan, como a las dificultades de corte y enterrado de los residuos.

A nivel mundial, en cambio, existe una diversidad de mecanismos y sistemas abresurcos, en función de las características particulares de tipos de suelo y condiciones de residuos. Baker et al., (2007) describen al menos 4 tipos de abresurcos principales, los cuales presentan en función de su diseño, diferencias en el manejo de los residuos y en el microambiente del área de la semilla.

En la República Argentina, existe una fuerte tendencia en el uso de abresurcos de disco (Pochat & Pozzolo, 2000), en especial del triple disco. El mismo se encuentra conformado por una cuchilla de corte y roturación del suelo y un abresurco de doble disco. Este diseño se está utilizando en condiciones de suelo y residuos de una gran variabilidad, encontrando como principal fortaleza la capacidad de corte de residuos de cosecha, junto a una intensa roturación de la línea de siembra, pero encuentra como contrapartida que para su penetración requiere de una masa importante en la máquina sembradora.

Muy pocos abresurcos para siembra directa fueron diseñados originariamente para suelos sin labrar; la mayoría fueron adaptaciones de abresurcos convencionales para suelos labrados. En los sistemas de siembra directa, los trenes de siembra son los únicos componentes de una sembradora que trabajan la superficie del suelo y deben cumplir todas las funciones necesarias para preparar físicamente la cama de siembra, al mismo tiempo que sembrar y fertilizar (Baker et al., 2007).

Estas funciones tendrán un mayor impacto en el resultado final en siembras sobre suelos con poca humedad edáfica, siendo importante conocer los comportamientos de los mismos para decidir su elección (Gargicevich & Maroni, 1997)

Dentro de los diferentes sistemas de tren de siembra, la emergencia de los cultivos es fuertemente afectada por cambios en la humedad del suelo y por las condiciones ambientales cuando se trabaja con abresurcos de discos, en comparación con los sistemas de rejas, siendo de mayor importancia en condiciones de suelos secos (Choudhary & Baker, 1982). Esta tendencia se ve más afectada por la baja capacidad que tienen los trenes de siembra de discos para penetrar, resultando en una baja eficiencia en la implantación del cultivo (Chaudhury, 2001). Esto se debe a que la acción de los abresurcos de discos sobre el suelo,

debido a su diseño habitual, es empujar el suelo hacia los lados y hacia abajo para poder conformar el surco, compactando el mismo (Baker et al., 2007; Righes et al., 1990).

Esta compactación es reflejada en el aumento de la resistencia a la penetración y la densidad aparente (Vamerali et al., 2006; Wilkins et al., 1983). Datos similares obtuvieron Iqbat et al., (1998) quienes encontraron una mayor compactación en la zona de siembra para los abresurcos de discos que afectaron las direcciones de crecimiento de las raíces. Informaron además que este efecto se minimizaba con el agregado de una cuchilla de corte y roturación por delante del doble disco. Relacionado a los procesos de compactación en el ambiente de la semilla, Nasr & Selles (1995) advierten que el incremento en la densidad aparente en la cama de siembra reduce también la velocidad de emergencia y la emergencia total y, en general, informan que la mayor emergencia se obtiene con densidades aparentes de alrededor de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$  y con una resistencia a la penetración menor a 1,4 MPa. Håkansson et al., (2011) indican que la firmeza del suelo en la zona de la cama de siembra, genera que se eleve la densidad aparente, aumentando la emergencia cuando las siembras son superficiales y en especial cuando el suelo se encuentra con bajo contenido de humedad.

Por otra parte, dependiendo de que la cuchilla se monte por adelante del abresurco, es posible lograr que el abresurco trabaje en la profundidad deseada o por encima de ella, debido a que ciertas clases de cuchillas poseen muy baja roturación, dejando el suelo con mayor resistencia a la penetración del abresurco. (Tesouro et al., 2009)

Según Tesouro et al. (2010), dentro de los trenes de siembra de discos, el sistema de triple disco tiene mejor comportamiento que el monodisco, excepto en lugares de altos volúmenes de rastrojo. Datos similares obtuvieron Pochat & Pozzolo (2000) trabajando sobre suelos vertisoles, en siembra de avena sobre un potrero con bajo contenido de cobertura, argumentando que en situaciones más extremas, en esos mismos suelos, el comportamiento de los abresurcos sería diferente. Por lo contrario, el monodisco presenta un mejor comportamiento respecto a los doble disco según Pozzolo & Ferrari (2007), sobre todo en suelos arcillosos con tenores altos de humedad.

En condiciones ideales de transitabilidad para un abresurco triple disco, el comportamiento del monodisco es menos adecuado ya que el mismo no realiza una microlabranza en el lugar de la semilla; por ello, Bragachini et al., (2001) aconsejan la adición de una barra porta herramienta con cuchillas turbo por delante de los abresurcos de monodisco. Sin embargo, Christiani et al. (2000) no encontraron en todos los sitios ensayados diferencias significativas producto de la adición de las cuchillas por delante del abresurco del monodisco, especialmente para siembras superficiales. Por lo contrario, se alcanzaron mejoras en la eficiencia de implantación para siembras profundas como consecuencia de la adición de las mismas, debido a la remoción que modifica las características físicas del suelo en el ambiente de la semilla.

Los problemas ocasionados por los sistemas abresurcos de discos, mencionados en los párrafos precedentes, sobre la eficiencia de implantación difieren de aquellos logrados por los sistemas abresurcos en base al uso de una reja, ya que los mismos obtienen una mejor uniformidad de siembra, especialmente en años secos o con suelos duros (Doan et al., 2005). Estos datos concuerdan con lo encontrado por Choudhary & Baker (1980) y Choudhary et al. (1985), quienes coinciden en que los trenes de siembra del tipo de discos tienen una inferior emergencia tanto en suelos secos como en húmedos, comparados con los de tipo reja. No obstante, la emergencia obtenida con abresurcos de discos puede ser mejorada si presenta un elemento que afirme la semilla contra la base del surco, dejando un buen contacto semilla-suelo. Staggenborg et al., (2004) indican que el elemento afirmante de semillas puede reducir el rebote de la semilla en el surco y disminuir los índices de pérdida de plantas, mejorando las densidades logradas.

Según Allen (1988) esta ventaja sobre la emergencia que tienen los abresurcos de rejas, se puede deber a los surcos estrechos y a las ruedas compactadoras con altas cargas que generan un buen contacto semilla-suelo.

Wilkins et al., (1983) ensayaron diferentes tipos de abresurcos y encontraron, en suelos con limitantes de humedad, que la mayor eficiencia de emergencia se alcanzó con un abridor de surco profundo. Sanavishiri & Raoufat (2006), sostienen además que este tipo de abresurco podría sembrar con éxito en lugares con altos volúmenes de residuos, a la profundidad deseable, mientras que en esas

condiciones el doble disco no podría colocar las semillas a la profundidad de siembra buscada. Esta problemática se vería agravada cuando las velocidades de siembra son extremas según Tourn et al., (2003).

Sin embargo, Desbioles (2008) afirma que el tren de siembra de reja tiene como inconveniente la capacidad para transitar en lugares de alto volumen de rastrojo, lo cual puede ser mejorado según Kepner et. al., (1982) con la adición de cuchillas de corte por delante del abresurco de reja, para reducir las atoraduras.

La perturbación reducida del suelo en la línea de siembra ha sido un objetivo buscado durante mucho tiempo en los sistemas de siembra directa (denominada también labranza cero), pero deben tenerse en cuenta ciertas consideraciones para alcanzar un correcto establecimiento del cultivo, tal como son la humedad del suelo y la densidad aparente (Baker et al., 2007). Según Rahman & Chen (2000) a medida que la profundidad de trabajo aumenta, también aumenta la cantidad de suelo disturbado. En el caso de los abresurcos de reja, la forma en que el suelo se rompe y es perturbado depende de varios factores entre los que se destacan el ángulo de ataque de la reja, la inclinación del vástago (Godwin y O'Dogherty, 2007 ) y ciertas características como contenido de humedad, textura y compactación del suelo (Sánchez-Girón, 1996). Las mismas afectan a la granulometría de los agregados que quedan por encima de las semillas, afectando la emergencia según Håkansson et al., (2002).

## **Eficiencia energética**

La energía requerida en los procesos para la implantación de los cultivos cobra relevancia en virtud de los costos constructivos y operativos de las máquinas agrícolas. En general, se menciona que el costo energético de la implantación de cultivos bajo sistemas de labranza reducida o labranza cero (siembra directa) es notablemente menor que el de los sistemas convencionales (Hetz & Barrios, 1997). Dicho análisis, toma en consideración la totalidad de los costos de laboreo del terreno para la labranza convencional hasta el momento de implantación del cultivo.

Dentro de dichos sistemas de labranza, convencionales, conservacionistas, reducidos o de siembra directa, existen diferentes diseños de máquinas

sembradoras que atienden a la adaptabilidad y cumplimiento de diferentes objetivos, ante distintas condiciones de trabajo. Tal como resulta lógico, los diferentes sistemas de trenes de siembra, que conllevan la utilización de distintos mecanismos u órganos de trabajo de la máquina sembradora, generan distintas demandas de esfuerzos de tiro y masa para el trabajo del suelo a una determinada profundidad.

En labranza conservacionista y especialmente en siembra directa, donde el suelo no ha sido disturbado previamente a la siembra, la resistencia del suelo suele ser mayor que en los sistemas de siembra convencional. Esa mayor resistencia del suelo puede verse reflejada en un mayor esfuerzo de tracción y fuerzas verticales de penetración sobre los mecanismos de corte y apertura del suelo. El incremento de esfuerzo de tracción y masa, incrementa las necesidades de inversión de capital y costos operativos y aumenta también el potencial de compactación. Algunas evaluaciones negativas con respecto a las máquinas de siembra directa involucran las necesidades de adecuar las fuerzas verticales requeridas para la penetración, el peso y características del bastidor de las mismas (Morrison et al., 1996), como así también la masa de los tractores para conformar conjuntos armónicos con máquinas sembradoras de cada vez mayor ancho de trabajo. Al respecto, Baker et al., (2007) aseguran que tanto la fuerza vertical requerida para la penetración como así también la horizontal que ejerce un tren de siembra (esfuerzo de tracción demandado por los órganos de trabajo del suelo) afectan considerablemente el diseño del chasis de la sembradora y el consumo energético que requiere la misma para su correcto funcionamiento.

Tal como se indicó anteriormente, tanto la prestación del tractor como la del implemento están fuertemente relacionadas a las condiciones físicas del suelo (Oskoui et al., 1982). Las relaciones entre las condiciones físicas del suelo y la prestación del equipo han sido ampliamente estudiadas para los implementos de labranza convencional (Kirby, 1993; Perdok & Kouwenhoven, 1994). Según Franco & Arrúa (2007), las fuerzas que demanda un tren de siembra no son constantes, lo cual puede ser causado porque el suelo presenta características heterogéneas, es en general no elástico, no lineal y puede además ser anisotrópico. Como consecuencia de ello, las propiedades del suelo pueden variar significativamente en cortas distancias. En contraste, según Perfect & McLaughlin (1996) existe



relativamente escasa información disponible sobre la naturaleza de esas relaciones en los sistemas de siembra directa de cultivos. Si bien varios autores han estudiado la prestación de cuchillas de siembra directa bajo condiciones de laboratorio, en canales edafométricos, (Gray & MacIntyre, 1983; Kushwaha et al., 1986; Nieuwenburg et al., 1992), la homogeneidad del suelo en dichas condiciones, no representa la heterogeneidad de las condiciones existentes a campo.

Dentro de un mismo tren de siembra, Collins & Fowler (1996) describen que la profundidad de siembra tiene una gran influencia sobre la demanda de tiro, mientras que Gerber et al., (1994) demuestran que la fuerza de tiro se puede representar en una función no lineal con la profundidad. Por otra parte, con respecto al contenido de humedad del suelo, el esfuerzo de tracción aumenta cuando disminuye la humedad del mismo, estando esta variación relacionada al aumento de la cohesión del suelo, según Arvidsson et al., (2004).

Respecto a las fuerzas requeridas para la penetración del abresurco, Faganello & Dallmeyer (1990) informan que existe una correlación entre la profundidad y la fuerza vertical necesaria para la penetración. Esto coincide con lo descrito por Bragachini et al., (2005) quienes afirman que la carga necesaria para que una cuchilla de corte penetre dependerá del diámetro la misma. La misma se incrementa significativamente con el incremento en la profundidad de trabajo como así también con el aumento de la velocidad, siendo los efectos de la profundidad más importantes que los que ocasionan los aumentos en la velocidad de desplazamiento (Rahman & Chen, 2000) . Estos efectos se ven magnificados con el incremento de densidad aparente del suelo (Sánchez-Girón et al., 2005; Seidi et al., 2010) y son fuertemente influenciados por la variabilidad edáfica (Collins & Fowler, 1996). Tice y Hendrick (1992) encontraron un incremento no lineal de la fuerza vertical sobre una cuchilla de 507 mm de diámetro cuando la profundidad de operación pasó de 20 a 160 mm. También Cocharan et al. (1974), trabajando sobre una cuchilla de 305 mm de diámetro de un disco abridor, reportaron incrementos en la fuerza vertical del 325% con incrementos de profundidad de penetración de 25 a 75 mm y una mejor correlación de la fuerza vertical con el área de contacto que con la profundidad de trabajo. Schaaf et al., (1981) encontraron un incremento del 99%

en el esfuerzo y de un 45% en la fuerza vertical cuando la profundidad de las cuchillas se incrementa de 30 a 70 mm.

Consideraciones similares han sido realizadas por Tola & Desbiolles (2009) en relación al trabajo de las cuchillas de corte de residuos. Dichos autores encuentran una relación entre la profundidad de trabajo de la cuchilla y la longitud de apoyo de la cuchilla en el suelo, estableciendo que el incremento de ambos factores determina un aumento en el requerimiento de carga vertical para la penetración. También detallan que existe similitud de comportamiento con respecto a la relación existente entre el diámetro de la cuchilla y el apoyo de la misma, siendo ambas relaciones un factor clave al momento de explicar el requerimiento de fuerzas verticales que asistan a la penetración del equipo.

Por lo expuesto, la profundidad de trabajo resulta un aspecto contraproducente en relación a los requerimientos energéticos de labor. Sin embargo, la profundidad de trabajo está habitualmente condicionada por la disponibilidad de humedad en los estratos superiores del suelo y la presencia de residuos a nivel superficial, condiciones características de los sistemas de labranza conservacionista. Con respecto a ello, en los trenes de siembra de triple disco, de mayor difusión en el trabajo bajo siembra directa de cultivos en Argentina, se establecen diferencias de eficiencia con la profundidad de labor, cuando trabajan sobre altos volúmenes de rastrojos. En dichas condiciones, el aumento en la profundidad de trabajo de la cuchilla tiene un efecto benéfico tanto en la eficiencia de implantación como en la uniformidad de la profundidad (Romito et al., 2011). No debe olvidarse que en muchas ocasiones, el aumento en la profundidad de trabajo es un requisito para alcanzar la resistencia del suelo necesaria para producir el corte de los residuos vegetales.

Bragachini (1998) indica la conveniencia de alistamiento de la cuchilla de corte de residuos a una profundidad de trabajo mayor que la del mecanismo abresurco. Menciona como ventaja, desde el punto de vista constructivo, la posibilidad de adjudicar una mayor responsabilidad a la cuchilla de corte y roturación del suelo, que presenta un vínculo al bastidor de la máquina de mayor solidez estructural que el de los mecanismos abresurcos. Afirmar, además, que la duración

del abresurco será por lo tanto mayor, por los menores esfuerzos a los que es sometido, pero sin brindar datos al respecto.

Bragachini et al (2001) recomiendan para un buen corte del rastrojo trabajar con cuchillas turbo a una profundidad de 9 a 10 cm, en la que el suelo aun deformándose provoca reacción al corte. Por otra parte, Bragachini et al. (2012) sugieren una profundidad mínima de trabajo de la cuchilla de 4 a 8 cm, como condición para lograr un adecuado trabajo del abresurco en la siembra de maíz.

En los trenes de siembra con sistemas de corte del suelo y apertura del surco con discos, Seidi et al., (2010) determinaron que se ejerce una fuerza vertical negativa, por lo que se requiere del agregado de peso para penetrar en el suelo, a diferencia de los trenes de siembra del tipo reja, con ángulos menores a 45°, donde se genera una fuerza positiva para penetrar en el suelo. Por lo contrario, cuando se trabaja con ángulos mayores, las mismas tienen una tendencia a demandar una fuerza extra para penetrar en el suelo, en acuerdo con lo informado por Ashburner & Sims (1984). Datos similares fueron obtenidos por Payne & Tanner (1959) donde ángulos inferiores a 45° proveen una componente vertical positiva disminuyendo la fuerza requerida para penetrar, mientras que valores superiores a los 45° requieren una adición extra de carga vertical para lograr el objetivo.

En relación a los requerimientos de esfuerzo de tracción, Lawson et al., (2011) concluyen que los trenes de siembra de disco requieren menor demanda de tiro debido especialmente a la menor profundidad de trabajo, aunque asume que puede demandar la misma o más potencia que los trenes de siembra de reja, especialmente porque permiten trabajar a mayor velocidad.

En cuanto a los efectos del diseño de la reja y el ángulo de ataque sobre el esfuerzo de tracción, los mismos tienen mayor influencia que la velocidad, Mammanb & Oni (2005).

Al respecto Chaudhury (2001) demuestra que las fuerzas de tracción se ven afectadas con el ángulo de la reja, siendo el rango de 25° a 30° el que presenta un menor requerimiento. Coincide lo anteriormente mencionado con Darmora & Pandeyb (1995), que sostienen que una baja demanda de fuerza horizontal se obtiene con un tren de siembra con una reja abridora angosta con ángulos de 40° o menos. Por otra parte, el uso de un ángulo de ataque inferior a 45° favorecería la

disminución de la masa requerida para la penetración tal como fuera explicado anteriormente, en función del ancho de trabajo de la reja según Payne & Tanner (1959).

En el caso de los trenes de siembra tipo reja, el tránsito de la misma puede verse afectado en lugares de alto volumen de rastrojo, requiriendo en dichas circunstancias de la adición de una cuchilla de corte por delante del abresurco para poder transitar y evitar atoraduras (Srivastava et al., 1994). Según Riley & Fielke (1990) la cuchilla puede generar la formación de un canal donde la reja puede transitar sin inconvenientes por el interior de la misma. Las cuchillas de corte y roturación se ven afectadas tanto en la fuerza vertical como horizontal con el aumento en la densidad de rastrojo (Kushwaha et al., 1986), con el aumento en la humedad de suelo (Asharafi, 2006), como así también por la longitud de contacto suelo-cuchilla en función de lo dicho por Tola & Desbiolles (2009), lo que implicaría un aumento en los requerimientos de carga sobre el tren de siembra en su conjunto. En estas circunstancias, parte de los beneficios de la utilización de rejas en el mecanismo abresurco para la asistencia a la penetración del equipo pueden limitarse por los requerimientos de masa sobre la cuchilla de corte de suelo y rastrojo. Por lo contrario, el trabajo de la reja sobre un suelo previamente cortado y eventualmente trabajado en el caso de uso de cuchillas onduladas, puede requerir un menor esfuerzo de tracción. En relación a estos aspectos, Terminiello et al., (1997) y Balbuena et al., (2009) concluyeron que la adición de cuchillas circulares de corte por delante de los arcos rígidos de escarificadores, reduce el esfuerzo de tracción, siendo esperable un comportamiento similar en los abresurcos de reja.

Otro factor que afecta la fuerza de tiro es el ancho del abresurco. El incremento en el ancho del abresurco incrementa la fuerza de tiro y reduce la cantidad de suelo que cubre la semilla sobre el surco, por lo cual el diseño del abresurco es particularmente importante sobre la germinación de la semilla (Chaudhry, 2001).

Al respecto, Fielke y O'Driscoll (1986), trabajando con cuchillas circulares por delante de rejas de 400 mm de ancho, concluyeron que la adición de aquellas favorecía el movimiento del suelo hacia los costados en detrimento de la elevación del mismo. Indicaron además la formación de un cuerpo de arcilla por delante de la

reja, que no es desplazado de ese sitio debido al corte del terreno producido por las cuchillas trabajando en la línea de acción de las rejas, con una visible reducción de la remoción del suelo. Datos similares fueron obtenidos por Terminiello et al., (1997) donde la adición de cuchillas circulantes por adelante de escarificadores favoreció un menor entremezclado del suelo con el material de cobertura del mismo. Además, observaron que la adición de las cuchillas puede generar disminución en la demanda de tiro.

La velocidad de trabajo es otro de los aspectos operativos de gran importancia en las operaciones de siembra. Asimismo, las variaciones de velocidad de avance suelen ocasionar modificación de aspectos tales como roturación del suelo, esfuerzo de tracción y profundidad de labor. No obstante, los resultados suelen ser variables y a veces contradictorios. Mordenel da Silva (2011) obtuvo un 41 % de incremento de área disturbada cuando aumentó la velocidad de 3,5 a 7 km h<sup>-1</sup>, mientras que la demanda de tiro y la profundidad de trabajo disminuyeron con el aumento de la velocidad. No obstante, la relación esfuerzo/profundidad se incrementa. Cochran et al., (1974), en cambio, encontraron que la fuerza vertical no fue significativamente afectada por la velocidad de avance cuando la misma fue inferior a 1,5 m s<sup>-1</sup>. Oliveira Dias (2009) halló que el área de suelo disturbada aumentó con el aumento de velocidad, no encontrando dicho aumento correlación con la profundidad de trabajo y concluyen que la misma no resulta dependiente de la velocidad de trabajo en el rango de 6,2 a 12,6 km h<sup>-1</sup>. Tampoco deberían esperarse cambios en los esfuerzos de tracción, teniendo en cuenta los resultados de Massote Pereira et al., (2008) ya que sus datos indican una variación de tan solo 12,5 kg por línea de trabajo con un aumento de 2 km h<sup>-1</sup> de velocidad, lo cual representa solamente un 3,83% del esfuerzo por línea registrado. No obstante, como es lógico, la demanda de potencia se vio incrementada con el aumento en la velocidad de trabajo.

Con respecto a la aptitud de las cuchillas para el corte de residuos vegetales Chancellor (1988) informa que las mismas podrían cortar los materiales más efectivamente, quizás incluyendo residuos y suelo, si existiese la combinación de los procesos de contacto con rotación y deslizamiento con respecto al material. Esto podría favorecerse por el frenado del movimiento de rotación de la cuchilla. El

frenado de la cuchilla puede notarse a través de una reducción en la velocidad de rotación o por la relación entre su velocidad periférica y la velocidad de avance (Hendrick & Gill, 1971) que permitiría el deslizamiento sobre el suelo y el material vegetal. Sin embargo, Tice y Hendrick (1992) manifiestan una opinión contraria a lo expresado por Chancellor (1988), ya que sus datos mostraron que dependiendo del ángulo del borde afilado, esa relación de velocidades puede o no incrementarse con profundidades crecientes seguidas por un decrecimiento a profundidades por encima de 80 a 90 mm. Choi y Erbach (1986) encontraron que la relación no se modificaba para una cuchilla de 410 mm de diámetro con los incrementos de profundidad de trabajo al pasar de 38 a 76 mm de profundidad o por cambios en la velocidad de 1 a  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ .

En contraposición a lo afirmado por Chancellor (1988), Tola & Desbiolles (2009) reportan que un aumento en la velocidad relativa de la cuchilla con respecto a la de avance es determinante de la aptitud de la misma para el corte de los residuos. Encuentran además, que las mayores relaciones de velocidad corresponden a las cuchillas “Directa”<sup>®</sup> y “Turbo”<sup>®</sup> de fabricación y amplia difusión en la Argentina.

En la bibliografía citada existe mucha discrepancia sobre los valores de requerimientos energéticos tanto en fuerza vertical como horizontal. Tola & Desbiolles (2009) encontraron valores de 1,256 kN de carga vertical, para una cuchilla de 20” trabajando a 80 mm de profundidad sobre un canal edafométrico. Arbex Silva (2007) determina que una cuchilla lisa de 381 mm de diámetro con una carga de 1,50 kN puede penetrar 53 mm sobre un residuo de avena de  $7144 \text{ kg ha}^{-1}$ . Respecto a los abresurcos Karayel & Sarauskis (2001) cuantifican requerimientos de 1,40 kN sobre los abresurcos monodisco y doble disco, para poder penetrar y realizar un surco de 51 y 52 mm respectivamente, con un bajo coeficiente de variación. En las cargas menores no obtuvo esta profundidad de surco y además el coeficiente de variación de la profundidad fue mayor. Sin embargo McLaughlin et al., (2006) evaluaron diferentes tipos de abresurcos de inyección de líquido; encontraron que el abresurco tipo monodisco, similar a los usados en siembra, les demandó 0,62 kN para trabajar a 50 mm sobre un suelo arcillo seco. Vaishnav (1983) en cambio, midió cargas de 0,30 a 0,70 kN de fuerza vertical utilizando cuchillas lisas de 460 mm de diámetro. Bragachini et al., (2001) asume como una desventaja del

triple disco en comparación del monodisco que el TD requiere un 10 a 20% más de kg para lograr penetración en iguales condiciones de suelo y rastrojo.

En cuanto al esfuerzo de tracción, también existe una amplia variación del mismo ante diferentes condiciones de trabajo y diseños constructivos, tanto para las cuchillas de corte de residuos y roturación del suelo como a nivel de mecanismos abresurcos. Para cuchillas de corte y roturación, Tola & Desbiolles (2009) determinan valores de 0,691 kN de esfuerzo de tiro.

Huijsmans et al., (1998) en un abresurco doble disco trabajando a 50 mm de profundidad sobre un suelo arenoso con alto grado de humedad midió requerimientos de 0,37 kN de esfuerzos de tiro mientras que en un suelo arcilloso los mismos ascendieron a 0,543 kN. En contraposición a este rango de esfuerzos de tracción, Modernel da Silveira et al., (2011) en ensayos a campo alcanzaron demandas de tracción de 2,42 kN. para un tren de siembra triple disco trabajando a  $7 \text{ km h}^{-1}$ .

Bai & Zhang (2011) tuvieron demandas de esfuerzo de tracción entre 2,45 y 2,73 kN trabajando con una cuchilla tipo turbo de 430 mm de diámetro de 20 ondas oblicuas con un ancho exterior entre ondas de 8 mm.

Menores demandas fueron obtenidas por Vaishnav (1983) utilizando cuchillas lisas de 460 mm de diámetro, con registros variables de 0,10 a 0,300 kN

En los abresurcos de reja, Metzger (2009) encontró que varió significativamente tanto la demanda energética, como la profundidad de trabajo entre distintos diseños de abresurcos comerciales de Canadá. Registró valores que variaron de 0,337 kN a 0,1576 kN a una velocidad de trabajo de  $2,61 \text{ m s}^{-1}$  ( $9,4 \text{ km h}^{-1}$ ). Dichos abresurcos trabajaron a una profundidad media que osciló entre 53 y 99 mm. Estas variaciones de profundidad afectaron significativamente la demanda de tiro. Desbiolles (2008) describe que, con un aumento de la profundidad al doble, la demanda de tiro se incrementa cuatro veces.

En la República Argentina, lamentablemente, no se cuenta con datos experimentales de demanda de esfuerzo de tracción para el conjunto de órganos del tren de siembra de las máquinas, como así tampoco de los mismos en forma individual. Esto ocasiona un alto grado de incertidumbre tanto en las características básicas de la máquina sembradora vinculadas a la capacidad de penetración, como

así también en la demanda de esfuerzo de tracción para una adecuada armonización del conjunto tractor-sembradora.

Si bien la armonización del conjunto tractor-sembradora depende de la demanda de potencia es interesante saber la demanda de tiro, para obtener un adecuado comportamiento en la relación rueda-suelo del tractor, en función del peso adherente requerido. Ciertas empresas realizan recomendaciones de requerimiento de potencia para un buen funcionamiento del conjunto. Pese a ello, no existe en la bibliografía internacional muchos aportes de los requerimientos conjuntos de los principales órganos de trabajo ni de las interacciones posibles de acontecer entre distintas configuraciones de los mismos o variables operativas comunes en el medio productivo.

Massey Ferguson<sup>®</sup> para su sembradora serie 300, con un tren de siembra doble disco aconsejan contar con un mínimo de 2,31 kW (3,15 CV) por línea de siembra, mientras que la empresa australiana Salford (2013) recomienda una potencia de 2,06 a 3,01 kW (2,8 a 4,1 CV) para una sembradora air drill con un tren de siembra doble disco. La potencia demandada por los abresurcos monodisco y tripledisco (Greatplain<sup>®</sup>) obtenida por Desbiolles (2009) fue de 2,03 kW (2,76 CV) y 2,7 kW (3,5 CV) respectivamente.

A nivel nacional, la potencia recomendada por los fabricantes de máquinas sembradoras promedia 3,31 a 3,68 kW (4,5 a 5 CV) por línea de siembra, sin diferenciación de sistema de abresurco utilizado, características del suelo ni profundidad de labor. ,

Por lo expuesto, resulta imperiosa la determinación de valores certeros, pese a la variabilidad que naturalmente ocasiona el trabajo en campo, para la comprensión de las características de diseño y prestación de las máquinas sembradoras, tanto en los aspectos vinculados a la eficiencia energética de los conjuntos, como así también la adaptabilidad de dichos diseños a diferentes condiciones y tipos de suelo para alcanzar un adecuado proceso de siembra e implantación de cultivos.



## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis fundamental**

El diseño del tren de siembra afecta la energía requerida para la labor y la eficiencia de implantación de los cultivos

### **Hipótesis de trabajo**

El tren de siembra con sistemas abresurcos de rejas aladas permite al menos igual eficiencia de emergencia e implantación que los sistemas con abresurcos de discos.

El tren de siembra con mecanismo abresurco de reja alada requiere menor masa para la penetración del conjunto.

Los trenes de siembra con sistemas abresurcos de discos requieren menor esfuerzo de tracción que los de rejas aladas.

Los trenes de siembra con sistemas abresurcos de discos permiten una mayor homogeneidad de la profundidad de trabajo.

Los diferentes sistemas de siembra presentan diferencias en la humedad del suelo en el ambiente de la semilla.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Propender a una mayor eficiencia energética y de implantación en la siembra de cultivos en el sudoeste Bonaerense.

### **Objetivos específicos**

Evaluar y comparar la emergencia y la implantación de los diferentes trenes de siembra usados.

Determinar la masa requerida para la penetración de los diferentes trenes de siembra a la profundidad de trabajo habitual.

Determinar los efectos de diferentes diseños de tren de siembra sobre la uniformidad de ubicación de la semilla en profundidad.

Evaluar los requerimientos de esfuerzos de tracción de los diferentes trenes de siembra.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ensayos experimentales**

Se realizaron 2 ensayos a través de los cuales se evaluaron de manera independiente la prestación de 4 trenes de siembra, en lo referente a la eficiencia de implantación de un cultivo de trigo y el desempeño tractivo de los distintos diseños. Para ello se desarrollaron dos estructuras diferentes:

- para la determinación de la emergencia.
- para la determinación de la componente horizontal del esfuerzo de tracción y la demanda de carga vertical para la penetración de cada tren de siembra, evaluando de manera independiente las mismas cuando el tren de siembra cuenta con mecanismos de corte de residuos separados del mecanismo abresurco.

### **Materiales**

#### ***Sitio experimental***

Los ensayos se realizaron en un predio productivo, ubicado en el partido de Coronel Rosales, distante 5 kilómetros al oeste de la localidad de Bajo Hondo (38° 46' 7,7''S – 61° 58' 29,07''O) en la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

El suelo es clasificado como Argiustol típico, fino, somero, con textura franco perteneciente al dominio edáfico 12 con un desarrollo fuerte (A<sub>1</sub>-B<sub>2t</sub>-C). Se encuentra en un paisaje de lomas característico de la región, en las cuales se observan afloramientos de tosca o su presencia a escasa profundidad, con la siguiente descripción.

- A<sub>1</sub> (0-12 cm): Textura al tacto franco pesado. Estructura bloques subangulares gruesos y medios, fuerte tendencia masiva. Raíces comunes, abundante pellets fecales. No reacciona al ácido clorhídrico, con un 3,7% de materia orgánica.
- A<sub>2</sub> (12-23 cm): Textura al tacto franco arcilloso pesado, Estructura bloques subangulares medios y finos fuertes. Raíces escasas. No reacciona al ácido clorhídrico.

- AC (23-32 cm): Textura al tacto franco arcilloso, estructura bloques subangulares medios y finos moderados. Raíces escasas no reacciona al ácido clorhídrico.
- C (32-51 cm): Textura al tacto franco arcillo limoso. Estructura bloques subangulares finos y medios débiles. Consolidado. Raíces escasas. No reacciona al ácido clorhídrico.
- CK (51-80 cm): Escasas raíces: Abundantes concreciones de  $\text{CaCO}_3$  finas y medias. Reacción muy fuerte al ácido clorhídrico.

El lote donde se realizó el ensayo, se cultiva bajo siembra directa desde el año 2010, con la siguiente rotación.

2007: Trigo

2008: Trigo

2009: Sin cultivar.

2010: Avena

2011: Trigo

2012/2013: Sorgo

### ***Preparación del sitio experimental***

El predio experimental fue trabajado en los últimos años bajo siembra directa de cultivos. Las tareas de preparación de la parcela consistieron en la realización de 2 aplicaciones de glifosato a razón de  $960 \text{ gr ha}^{-1}$  de principio activo, con sus respectivos coadyuvantes, antes del ensayo. La primera aplicación se realizó el 1<sup>ro</sup> de agosto y la segunda el 20 de septiembre.

### ***Caracterización de las condiciones del suelo***

El suelo donde se realizó el ensayo presentaba una buena estructuración y una buena porosidad reflejadas en los valores de densidad aparente que a profundidad de 0-5 cm rondó en el orden de  $1,3 \text{ gr/cm}^3$ , presentaba una capa endurecida a nivel superficial con valores de penetrometría mayores a 5 Mpa de 0-2,5 cm y del orden de los 3 Mpa de 2,5 a 5 cm.

Estas características de los suelos son habituales a los momentos de la siembra de invierno bajo sistema de siembra directa.

### ***Variables experimentales***

Se establecieron 4 tratamientos a partir de la conformación de 4 trenes de siembra, habitualmente utilizados en máquinas sembradoras para la implantación de cultivos de grano fino, los cuales constituyeron los factores de variación: Mono Disco (MD), Doble Disco (DD), Triple disco (TD) y Reja (R). Los tres primeros son comercializados para la siembra directa de cultivos por diversas fábricas de la República Argentina, mientras que el cuarto fue especialmente construido para la realización del ensayo, en acuerdo con diseños existentes habitualmente utilizados para la implantación de granos finos en regiones semiáridas, con fuertes déficits hídricos durante el período de implantación y desarrollo del cultivo.

### ***Triple disco (TD)***

Constituido por una cuchilla de corte de residuos y remoción del suelo ondulada, denominada comercialmente “ON 33” de la Marca Oncativo S.A., con un diámetro de 457 mm y ondulaciones tangenciales curvas, en un número de 33. La cuchilla posee un ancho 7 mm y se acopla al chasis de la máquina en forma independiente del mecanismo abresurco mediante grampas y presenta posibilidades de regulación de la profundidad de trabajo por medio de una corredera vertical (Figura 2).

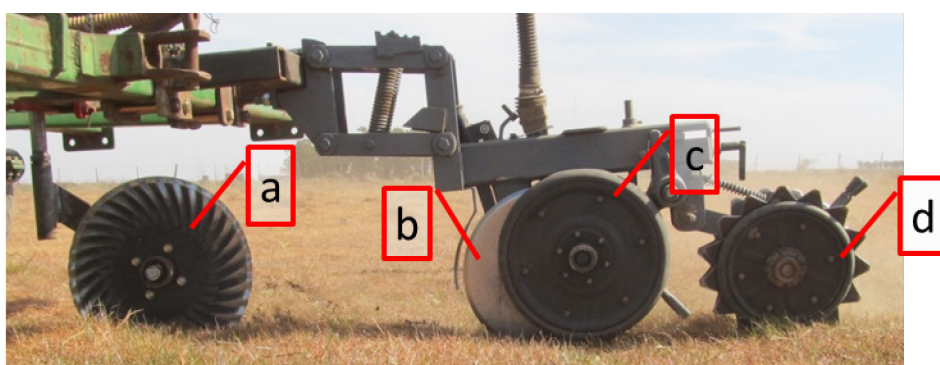


Figura 2: Tren de siembra triple disco. a: Cuchilla de corte de residuo y remoción; b: Abresurco doble disco plano; c: Rueda limitadora de profundidad de surco; d: Rueda tapadora.

Por detrás de la línea de trabajo de la cuchilla se ubican los abresurcos de doble disco plano de 406 mm de diámetro con doble rueda de caucho, limitadora de profundidad, ubicada en forma lateral en balancín, de 382 mm de diámetro y de 90 mm de ancho. Posee un colita pisa grano, contactadora de semilla, y dos ruedas tapadoras en forma de “V” con una cubierta de banda redonda semineumática de 302 mm de diámetro y 25 mm de ancho, con discos cóncavos estrellados de 15 muescas hacia afuera del lado interno (Figura 3).

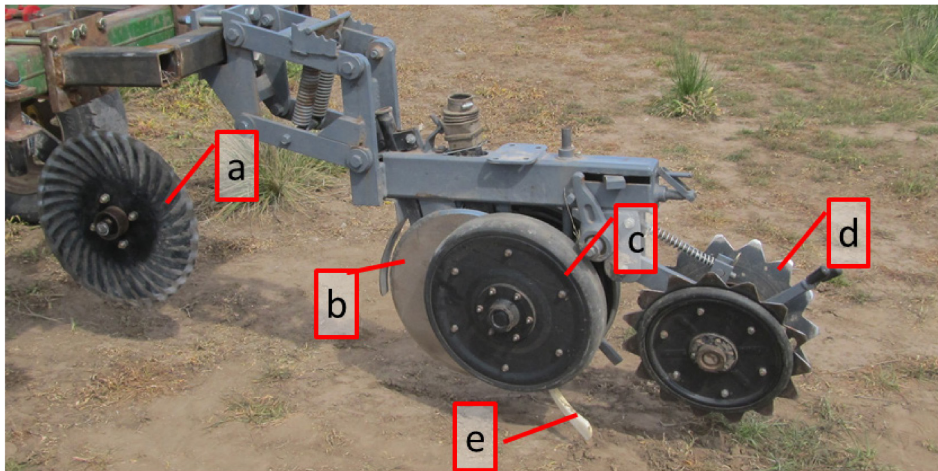


Figura 3: Tren de siembra triple disco. a: Cuchilla de corte de residuo y remoción; b: Abresurco doble disco plano; c: Rueda limitadora de profundidad de surco; d: Rueda tapadora con discos cóncavos estrellados; e: colita pisa grano.

### ***Doble disco desencontrado (DD)***

Abresurco de doble disco desencontrado, de 381 mm de diámetro, desfasados 22 mm uno con respecto al otro. Ruedas tapadoras de 302 mm de diámetro y 25 mm de ancho con una cubierta de banda redonda maciza, con regulación de la profundidad del surco de siembra por medio de las ruedas tapadoras en función al recorrido que vincula las mismas con el abresurco. (Figura 4).

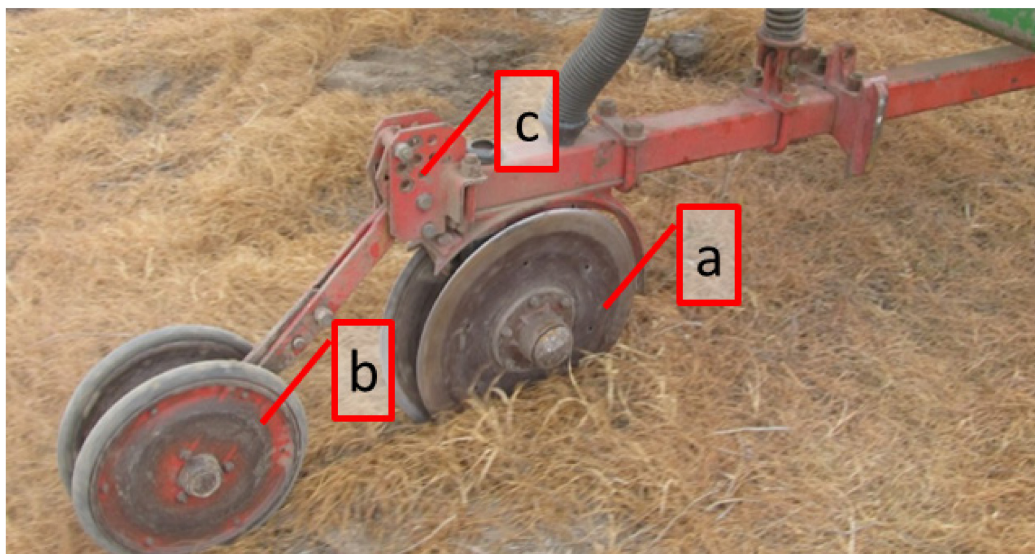


Figura 4: Tren de siembra doble disco. a: abresurco doble disco plano desfasado; b: doble rueda tapadora en forma de V con banda de goma redonda maciza; c: regulación del recorrido de las ruedas tapadoras que limitan la profundidad de surco.

### ***Monodisco (MD)***

Constituido por un único disco plano de 451 mm de diámetro con zapata. Ángulo de cruce del monodisco en el plano horizontal de 0,12 rad (7 grados) e inclinación en el plano vertical de 0,1 rad (5,8 grados). Rueda limitadora de profundidad de 382 mm de diámetro y 100 mm de ancho. Zapata con regulación de altura independiente del Monodisco en función de la profundidad de siembra, presenta como órgano aprieta semilla una colita pisa grano. El sistema monodisco se vincula a la estructura de la máquina a través de un paralelogramo con tensión regulable de carga para asistir a la penetración del cuerpo.

Ruedas tapadoras dobles dentados, de chapa estampada de 305 mm de diámetro (Figura 5).

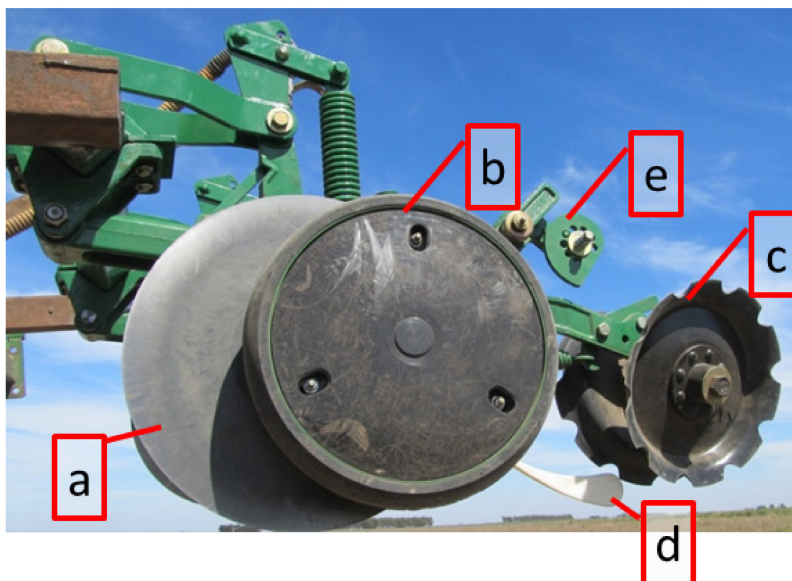


Figura 5: Tren de siembra monodisco. a: Abresurco monodisco plano de filo interno de 451 mm de diámetro; b: Rueda limitadora de profundidad de surco con banda de goma semineumática; c: Doble rueda tapadora en “V” de chapa con estrías en los bordes; d: Colita pisa grano; e: elemento de regulación de la profundidad de surco.

### ***Reja (R)***

Consta de una cuchilla circular de corte de residuos y roturación de suelo, ondulada, denominada comercialmente “ON 33” de la Marca Oncativo S.A., con un diámetro de 457 mm y ondulaciones tangenciales curvas, en un número de 33. La cuchilla posee un ancho de 7 mm y se acopla al chasis de la máquina en forma independiente del mecanismo abresurco mediante grampas y presenta posibilidades de regulación de la profundidad de trabajo por medio de una corredera vertical. (Figura 6).



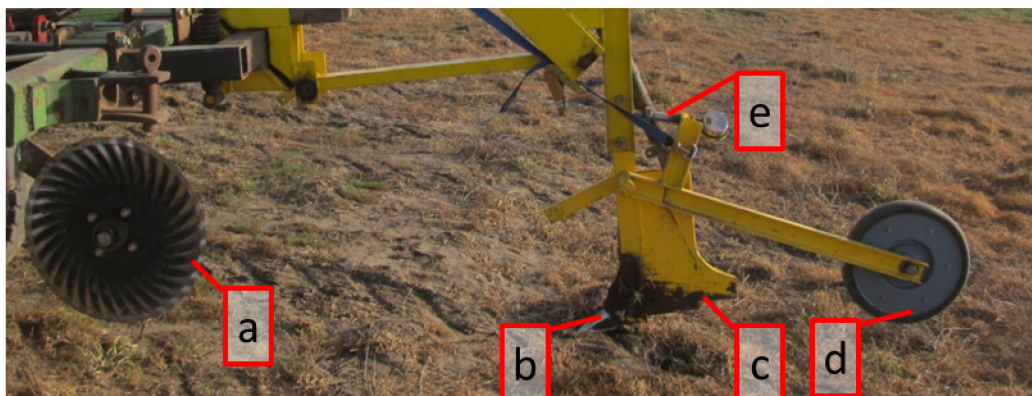


Figura 6: Tren de siembra de reja alada. a: Cuchilla cortadora labradora de 457 mm de diámetro de 33 ondas; b: reja estrecha de 47 mm de ancho; c: bota de descarga de semilla y fertilizantes; d: rueda compactadora con caucho de goma semineumática; e: perno de regulación de la profundidad de surco a través de la rueda compactadora.

Abresurco constituido por una reja estrecha de 47 mm de ancho en las alas laterales y una longitud de 106 mm (Figura 7), dispuesta con ángulo de ataque de 0,63 rad (36 grados), seguida de una bota, de 380 mm de longitud, donde se encuentra la descarga de fertilizante y semilla.

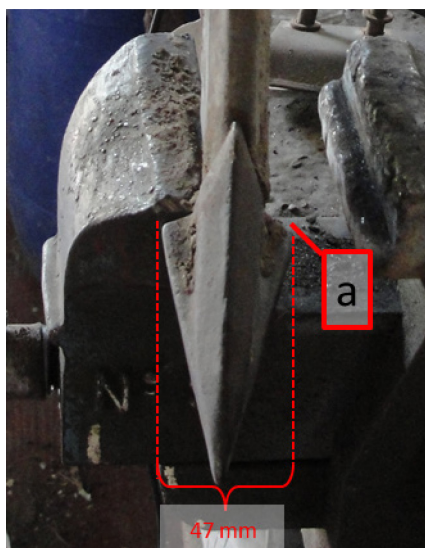


Figura 7: Vista frontal de la reja del abresurco del tren de siembra de reja alada. a: ala de la reja estrecha de 47 mm de ancho.

La rueda compactadora, de caucho, semineumática, posee 295 mm de diámetro y 47 mm de espesor trabajando sobre la línea de siembra, ubicada a 830 mm de la reja de roturación (Figura 6), funcionando como elemento de control de profundidad.

### ***Tractor***

Se utilizó un tractor Fiat 800E de 84 CV de tracción simple, con una masa total de 42,4 kN (4320 kg). Con rodado anterior 750-18 y rodado posterior 18.4-34. Se trabajó con una trocha en el tren anterior de 1535 mm y de 1690 mm en el tren posterior, permitiendo la labor sin interferencias del rodado sobre los trenes de siembra, los cuales se ubicaron en el carro dinamométrico y en el equipo de siembra, centrados en línea con el plano medio del tractor.

### ***Equipo de siembra***

Para la siembra del cultivo se utilizó una unidad de siembra de arrastre para granos finos construida específicamente para el ensayo sobre un chasis de un cincel “Agromec” de 9 púas, con un cajón sembrador colocado sobre la misma estructura, para la dosificación de la semilla. La semilla liberada por el mecanismo dosificador es transportada al tren de siembra por medio de asistencia neumática. El sistema está constituido por un mecanismo de dosificación mecánico, con distribuidor de rodillo acanalado recto de 51 mm de diámetro externo máximo, con 10 acanaladuras, trabajando en el fondo de la tolva y alimentado en forma gravitacional. El dosificador descarga la semilla, con la asistencia de un sistema venturi, en la conducción del aire generado por una turbina. La semilla es luego transportada por una conducción de caucho corrugado hasta el ciclón descomprimidor de aire que permite disminuir la velocidad de la semilla para ser llevada hasta el mecanismo abresurco (Figura 8).

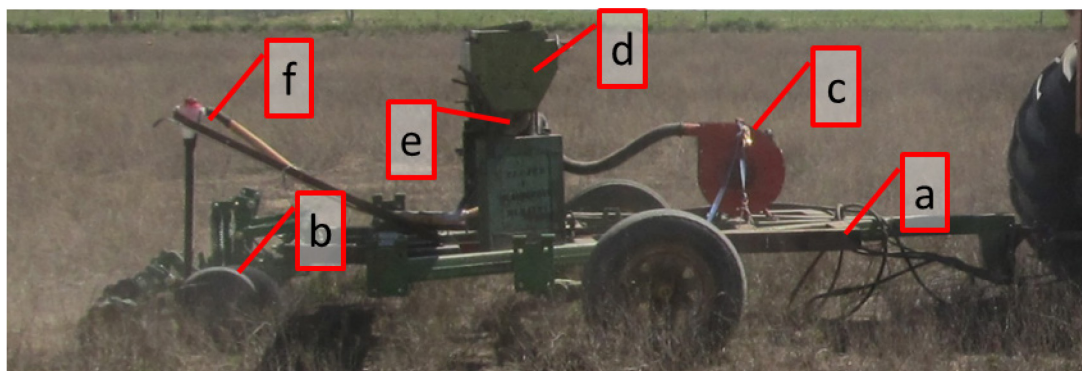


Figura 8: Unidad de siembra. a: Chasis; b: Tren de siembra; c: Turbina de aire; d: Tolva; e: Dosificador; f: Ciclón descomprimidor de aire.

Los mecanismos abresurcos se vincularon al bastidor de la máquina sembradora, mediante el sistema original de cada uno de ellos. Cuando correspondía (TD y R) la cuchilla circular de corte de residuos y remoción del surco se vinculó directamente al chasis, en forma independiente del mecanismo abresurco, en la misma línea de trabajo y por delante del mismo.

### ***Unidad de medición de fuerzas***

#### ***Estructura del carro dinamométrico***

Para la medición de los esfuerzos de tracción y las cargas verticales necesarias para la penetración del equipo se desarrolló un carro dinamométrico, de arrastre, para la evaluación de componentes en campo. El mismo permite determinar los esfuerzos de tracción y fuerzas verticales, en forma simultánea, de los componentes principales de un tren de siembra.

La estructura básica del carro consta de dos módulos en forma de cubo que se encuentran en línea (Figura 9); el primero de ellos permite la colocación de la cuchilla circular de corte de residuos y roturación del suelo, el segundo módulo admite la colocación del conjunto constituido por el abresurco y los elementos del tren de siembra encargados del contactado de la semilla y el cierre del surco. De esta forma es posible diferenciar las fuerzas ejercidas sobre las cuchillas de las del resto del tren de siembra. A su vez, las características del sistema de medición de

datos permitió establecer relaciones entre las cargas verticales y horizontales de cada elemento, como también obtener las relaciones entre los esfuerzos demandados por cada elemento principal constitutivo de cada tren de siembra, es decir las interacciones entre dichas unidades. Las dimensiones de cada módulo son de 1,5m de longitud x 1,2 m de ancho x 1.2 m de alto para el primero y 1,8m de longitud x 1,2 m de ancho x 1.2 m de alto para el segundo (Figura 9).

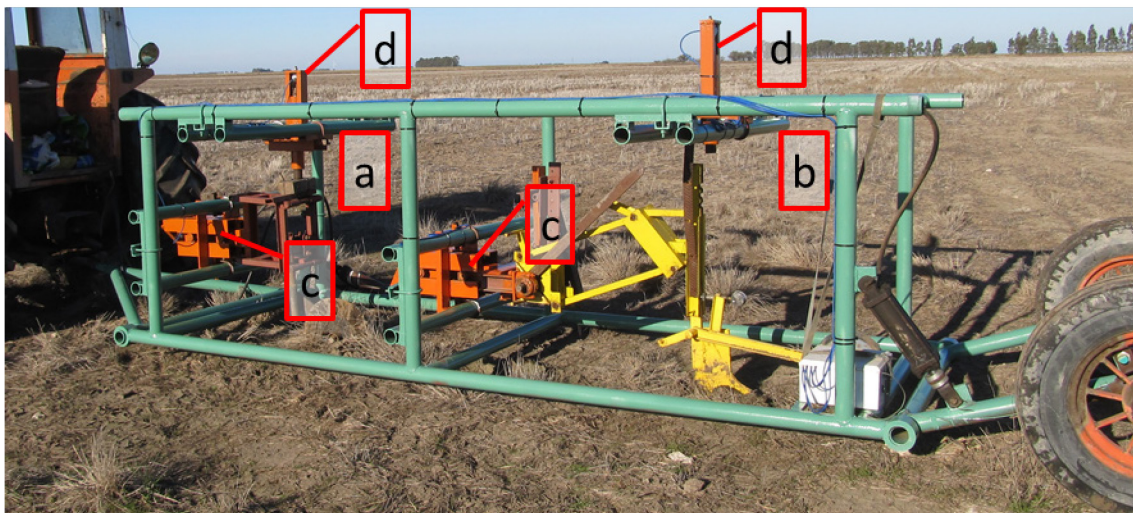


Figura 9: Carro dinamométrico. a: Módulo anterior; b: Módulo posterior; c: Estructura desplazable horizontal; d: Estructura desplazable vertical.

Cada módulo presenta dos estructuras, una vertical y otra horizontal donde se ubican las celdas de carga que midieron en forma independiente los esfuerzos en ambos planos. El elemento o mecanismo a evaluar fue tomado en forma conjunta por medio de ambas estructuras desplazables, que fijaron al mismo limitando desplazamientos laterales y rotacionales. Los datos se almacenaron en un adquirente de datos ubicado sobre el mismo carro dinamométrico.

El carro dinamométrico presenta un sistema de regulación de la posición de trabajo del conjunto, realizándose luego sobre los distintos mecanismos las regulaciones independientes de trabajo de cada uno de ellos.

La estructura del carro dinamométrico se levanta para su transporte mediante dos cilindros hidráulicos de 100 mm de diámetro interno, conectados en serie entre sí. Uno de ellos mueve el eje que vincula el sistema de rodado, de ubicación posterior,



similar al instrumento de medición usado por McLaughlin et al (2006) y el otro produce el movimiento de la lanza articulada para que el levante del carro sea lo más parejo y paralelo posible a la superficie del terreno. El rodado del carro es 7.50-18 con un diámetro de 876 mm montado sobre llantas de 10 rayos.

Acoplada a cada estructura de medición se ubica una barra porta herramienta la cual permite el montaje de los diferentes elementos de los trenes de siembra.

El conjunto se completa con un sensor de inducción tipo “hall” para la cuantificación del desplazamiento y el cálculo de la velocidad de avance del conjunto (Figura 10). El sensor se encuentra ubicado sobre la llanta del rodado de transporte y regulación general de la profundidad del carro dinamométrico, mediante los rayos de la llanta, dando un pulso del sensor cada 275 mm de distancia, que equivale a 5 datos por segundo trabajando a  $1,39 \text{ m s}^{-1}$  ( $5 \text{ km h}^{-1}$ )



Figura 10: a) Vista del sistema de rodado y el sistema de medición de la distancia recorrida puesto sobre la rueda de 10 rayos. b) Sensor de inducción Hall,

### ***Adquisidor de datos (Data logger)***

El sistema adquisidor de datos fue desarrollado como trabajo de final de carrera de Ingeniería Electrónica (Datalogger) de la Universidad Tecnológica Nacional por los alumnos Mauro F. Ferreyra; Marcos N. Mancinelli y Fernando A. Romanelli.

Presenta 6 conectores de entrada de datos (Figura 11) para la toma de datos de 5 celdas de carga y uno para el sensor Hall.

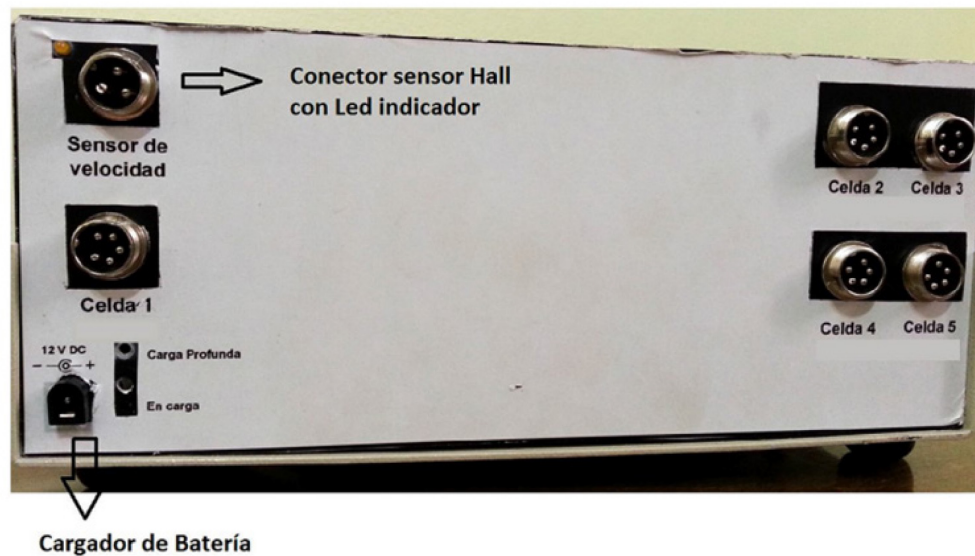


Figura 11: Vista posterior del sistema adquirente de datos, con 5 conexiones para la toma de datos de esfuerzos y un conector para el sensor Hall para el cálculo de la velocidad de desplazamiento.

Los datos adquiridos son almacenados internamente en una memoria a razón de 10 muestras por segundo, pero previamente son acondicionados y convertidos a una señal digital (Figura 12). Estas pueden ser guardadas en cualquiera de los 4 bancos de memoria. Los mismos poseen una capacidad de 32kb c/u y se encuentran particionados en dos unidades, dando como resultado 8 segmentos donde puede ser guardado los resultados. Lo antedicho permite la posibilidad de realizar 8 muestreos antes de tener que descargar los datos a una computadora.

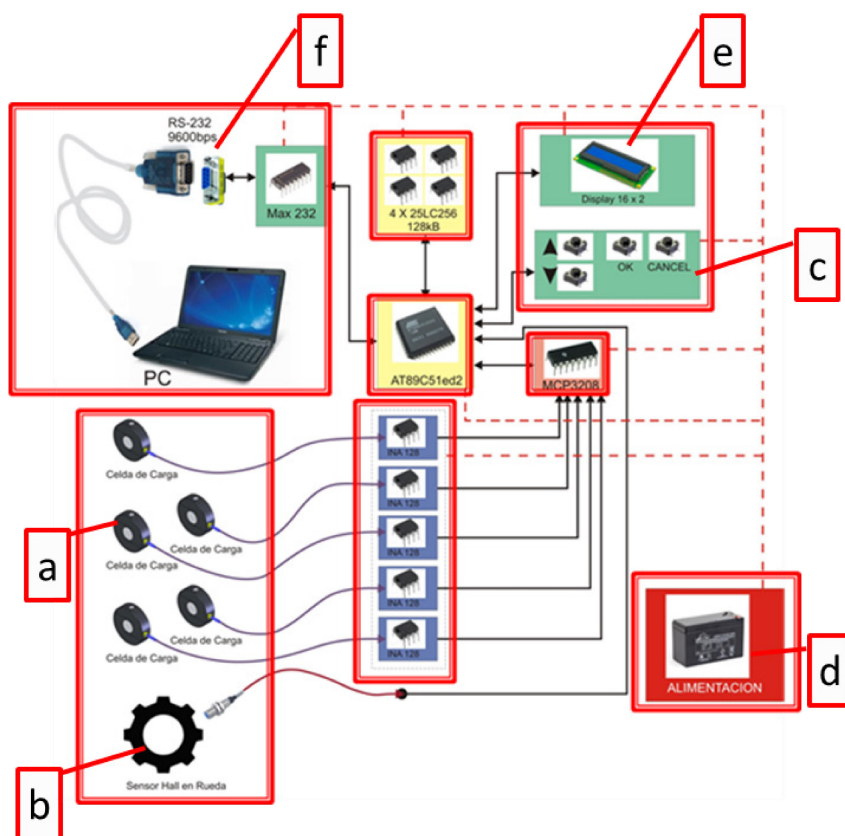


Figura 12: Esquema de integración de los componentes del adquirente de datos. a: Celdas de Carga; b: Sensor hall; c: Regulador de la ganancia y compensador; d: Batería; e: Visor; f: Conector RS-232.

El tiempo total de muestreo que puede almacenarse en cada segmento es de 2 min 28,5 s con una toma máxima de 1485 datos en cada canal, lo cual otorga un total de tiempo de muestreo efectivo de 19 min 48 s.

Para el funcionamiento del adquirente de datos se cuenta una batería interna de 12V / 7 Ah, que brinda una autonomía de 24 hs encendido, la que puede ser recargada mediante un cargador individual externo.

El equipo presenta una pantalla para la interfaz del equipo-operario, en conjunto con una botonera que permite el accionamiento de la totalidad de las funciones. Los datos recogidos y acumulados en la memoria interna, pueden ser transferidos a una PC mediante un conector RS 232 y el software “Hercules”<sup>®</sup>. Los archivos descargados a la computadora se graban posteriormente en una planilla de cálculo, que puede ser leída por medio del software “Microsoft Excel”<sup>®</sup>.

El adquisidor de datos requiere que se verifiquen y calibren las señales recibidas de las celdas de carga. Para ello hay que regular la ganancia y el compensador del equipo en un banco de prueba, con pesas patrón (Figura 14), con un mínimo de 3 puntos entre 0 y el máximo que soporta cada celda según el fabricante.

Estas regulaciones se realizan mediante un destornillador potenciando o minimizando las señales (Figura 13).

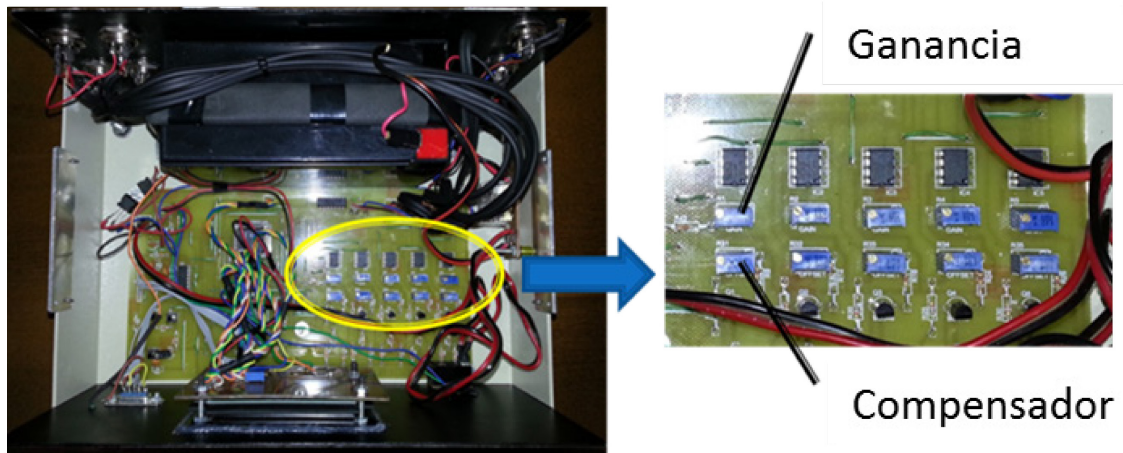


Figura 13: Vista del interior del adquisidor de datos, donde se observan las resistencias regulables para calibrar la ganancia y el offset del equipo.

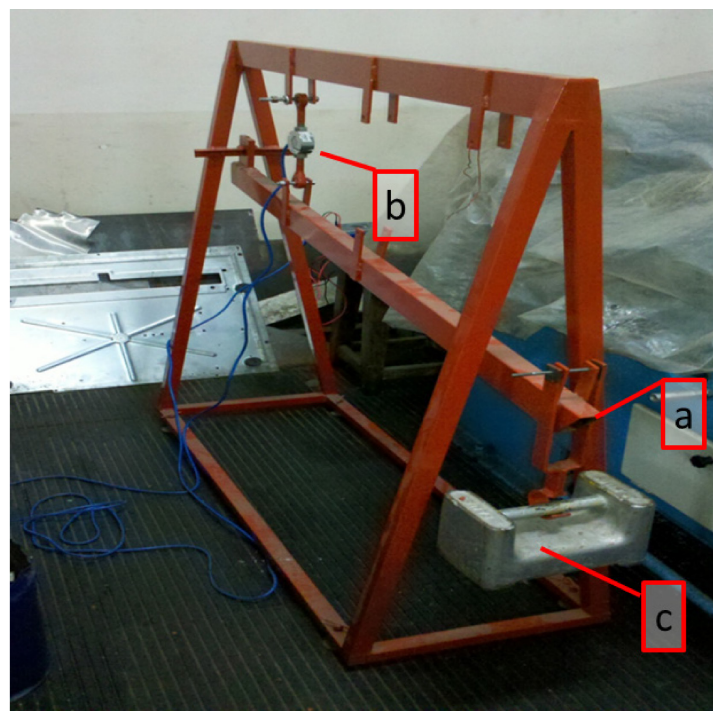


Figura 14: Banco de prueba. a: Brazo de carga; b: Celda de carga en prueba; c: pesa patrón.



### **Celdas de carga**

Para la medición de las cargas horizontales y verticales se utilizaron celdas de carga marca BYM tipo “S” de tracción-compresión con una capacidad de 500 kg (4,903 kN) de acero (Figura 15), presentando las especificaciones que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones técnicas de celdas de tracción BIM GTR tipo “S” de 500 kg.

Capacidad Nominal (kg):	500	Resist. de salida (OHM):	350 +/-5
Sensibilidad (mV/V):	2 +/- 10%	R. de Aislación (G OHM):	>5
Alinealidad (%CN):	0,03	Tensión excitación (V):	5 a 15max
Histéresis (%CN):	0,02	Rango comp. de t(°C):	-10 a 40
Balance de cero (mV/V):	+/- 0,1	Sobrecarga Adm. (%CN):	150
Efec.temp. en cero (%CN):	+/- 0,003	Código de protección:	IP 67
Efec.temp.en senc. (%CN):	+/- 0,0015	Long. cable (m):	3
Resist. de entrada (OHM):	385 +/-5	Peso Kg.:	0,4



Figura 15: Celda de carga BIM serie GTR tipo “S” de tracción-compresión con una capacidad de 500 kg. Vista de la ubicación de la celda en la estructura de medición de esfuerzos horizontales.

Las celdas de carga están ubicadas en estructuras funcionales que, tal como se dijo anteriormente, permiten diferenciar las fuerzas horizontales y verticales que se producen sobre los elementos del tren de siembra. El sistema permite que cada

celda de carga trabaje en un único plano, limitando los movimientos laterales y rotacionales que pudiesen producirse como consecuencia de los esfuerzos a los que son sometidos los órganos de trabajo evaluados.

Las estructuras se encuentran montadas sobre guías que permiten su desplazamiento horizontal y vertical para la correcta alineación con el tren de siembra o sus órganos de trabajo.

Las estructuras horizontales (Figura 16) deben mantener y sostener las fuerzas rotacionales que se generan de cada tren de siembra. Para ello se desarrollaron 4 guías unidas entre sí en forma de cruz, donde en cada una de ellas se desplazan dos rodamientos 4205 montados en cuatros ejes de 25 mm, unidos entre sí mediante una estructura interna que soporta las fuerzas y se vincula mediante la celda de carga a la estructura externa.

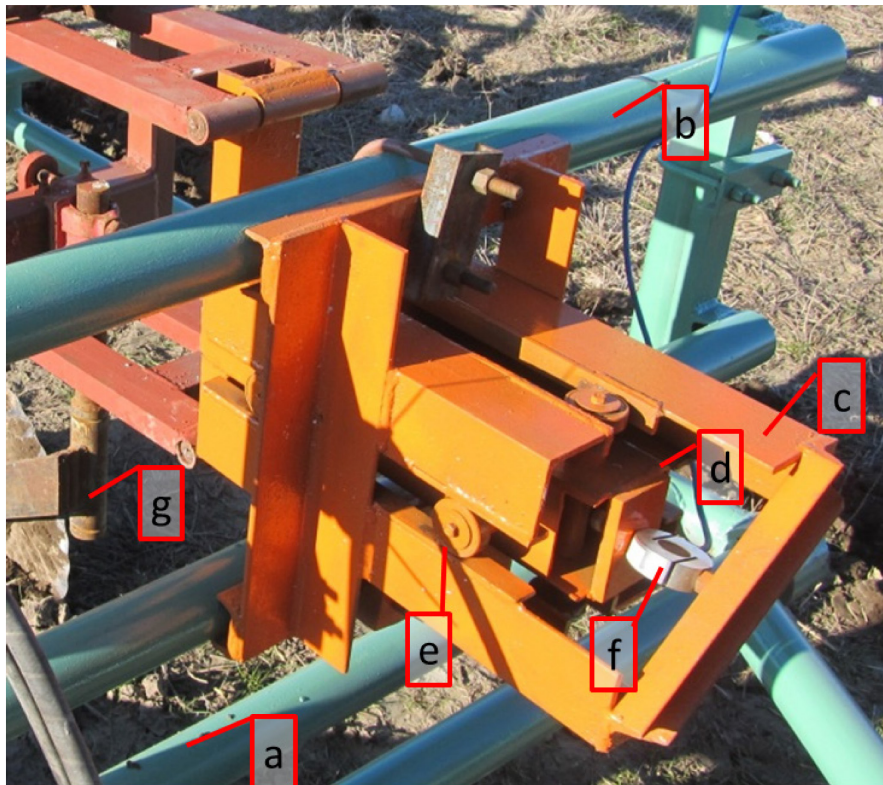


Figura 16: Estructura horizontal. a: Chasis; b: Corredora del chasis; c: Estructura horizontal externa; d: Estructura horizontal interna; e: Rodamiento 4205; f: Celda de carga; g: Cuchilla.

La estructura vertical está unida al paralelogramo y formada por un eje de 50 mm de acero que se desplaza por dentro de dos bujes de grillon (Termoplástico obtenido a partir de la Poliamida) de la estructura externa vertical, siendo lubricados

periódicamente. La celda de carga va montada entre el eje y la estructura de la torreta (Figura 17).

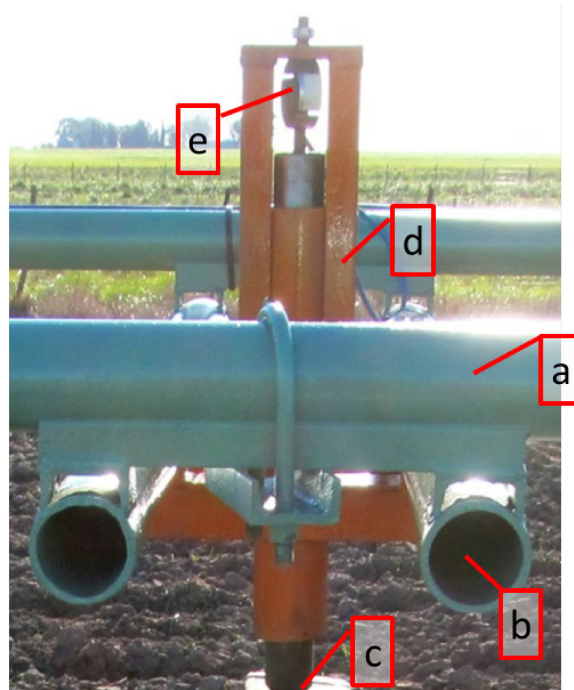


Figura 17: Estructura vertical. a: Chasis; b: Corredera de chasis; c: Eje interior de 50 mm; d: Estructura externa; e: Celda de carga.

### ***Equipamiento para caracterización física del suelo y la profundidad de siembra.***

#### ***Densidad y humedad de suelo***

Para la determinación de la densidad aparente y obtención de muestras para la determinación de la humedad del suelo se usaron cilindros de acero inoxidable con un diámetro de 50 mm de 100 cm<sup>3</sup>.

Para el secado de las muestras de suelo se utilizó una estufa eléctrica a 105°C y para la determinación del peso húmedo y seco se utilizó una balanza de precisión.

***Resistencia a la penetración***

Se usó un penetrómetro de cono con un aro deformable, mecánico, con mecanismo registrador de máxima. El mismo cuenta con una varilla y un cono de 1,3 cm<sup>2</sup>, contruidos bajo Norma ASAE S. 313.2 (1993).

***Profundidad de siembra***

Para determinar la profundidad de siembra se usó una regla de 1,2 metros y un calibre.

## Métodos

Para la realización de los ensayos de implantación de cultivo de trigo y la prestación tractiva de los diferentes trenes de siembra se utilizó la 5<sup>ta</sup> marcha del tractor, con una velocidad teórica de  $1,6 \text{ m s}^{-1}$  ( $5,76 \text{ km h}^{-1}$ ) la cual se encuentra en el rango medio recomendado (Maroni, 1994) para la siembra y resulta representativa de lo habitualmente utilizado a nivel local.

En forma previa a la realización de los ensayos se realizó la caracterización física del suelo a través de parámetros de densidad aparente, humedad y resistencia a la penetración. En el sector asignado a los ensayos de implantación del cultivo no se registraron diferencias entre los distintos bloques y parcelas de medición de cada tratamiento, en ninguno de los parámetros de caracterización del suelo, siendo los mismos homogéneos.

En los estudios previos a la realización de los ensayos de prestación tractiva y masa requerida para la penetración se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en la densidad aparente del suelo en los diferentes sectores de muestreo como así también en los valores de la humedad gravimétrica de los mismos, tal como se visualiza en las figuras 18 a; 18 b; 18 c.

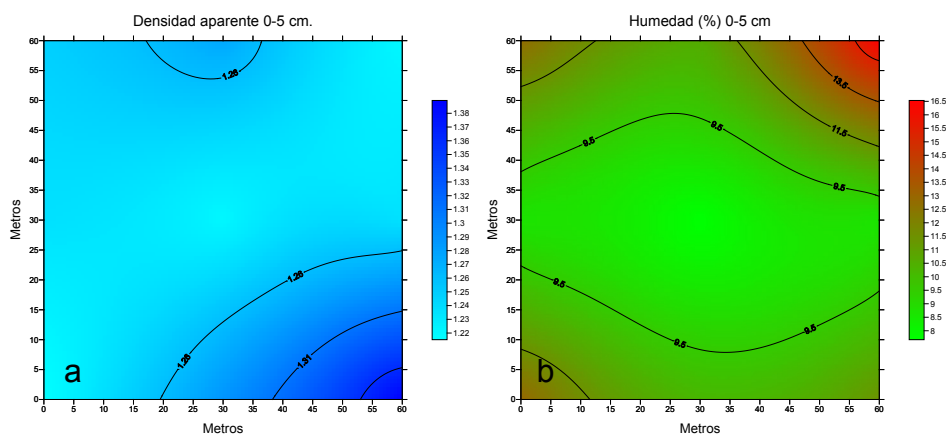


Figura 18 a: Mapa de densidad aparente  $\text{gr.cm}^{-3}$  (a) y de humedad gravimétrica % (b) en la zona de ensayo a una profundidad de 0-5 cm.

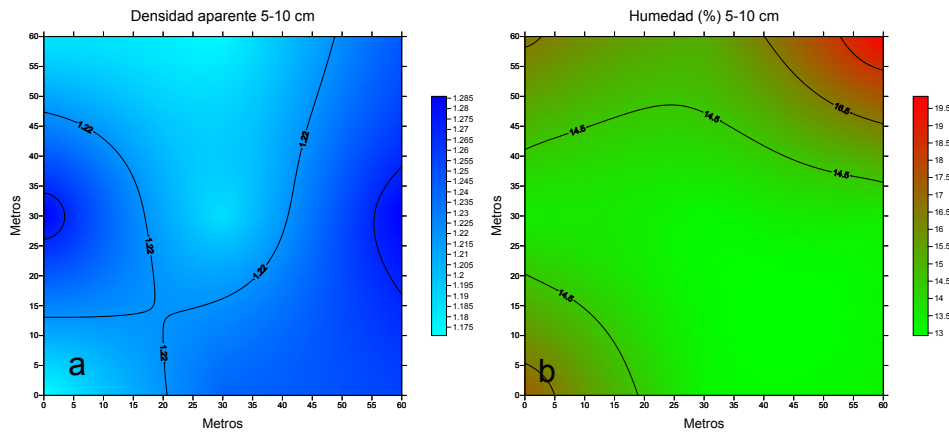


Figura 18 b: Mapa de densidad aparente  $\text{gr.cm}^{-3}$  (a) y de humedad gravimétrica % (b) en la zona de ensayo a una profundidad de 5-10 cm.

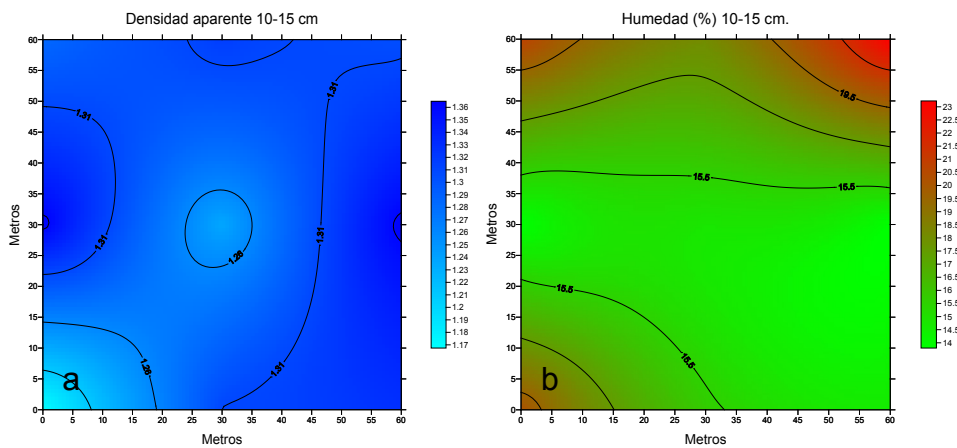


Figura 18 c: Mapa de densidad aparente  $\text{gr.cm}^{-3}$  (a) y de humedad gravimétrica % (b) en la zona de ensayo a una profundidad de 10-15 cm.

En función de ello, los bloques fueron dispuestos de manera tal que los mismos se ubiquen en zonas de densidades aparentes homogéneas y los tratamientos aleatorizados en cada uno de ellos, contando como ventaja el reducido espacio requerido para cada una de las determinaciones en lo que respecta al ancho de cada parcela experimental, correspondiente a un único mecanismo abresurco, utilizando la misma metodología para la siembra de los ensayos de implantación.

### ***Implantación, humedad de surco y profundidad de siembra***

La siembra se realizó el 29 de septiembre, pasada la fecha de siembra típica del cultivo de trigo en la región. Durante la época de siembra se produjeron precipitaciones importantes y, con la finalidad de obtener condiciones de humedad de suelo típicas de la zona para la siembra de cereales de invierno, se decidió retrasar el inicio del ensayo al mes de septiembre, donde la humedad gravimétrica en superficie (0-5 cm) fue de 15,4 %.

Cada tratamiento (tren de siembra) constó de una línea de surco de 40 m de longitud y 5 repeticiones. Se utilizó semilla de trigo ACA 223 de ciclo intermedio-largo con una densidad aproximada de 50 semillas m. lo cual resulta en una densidad de aproximadamente 285 semillas m<sup>2</sup> en una separación entre hileras de 17,5 cm. Cada tratamiento estuvo separado del tratamiento contiguo, por una distancia de 2 m, a los efectos de permitir el tránsito del tractor sin interferencia del rodado sobre la línea de cultivo. Por lo tanto, el sector intermedio entre 2 tratamientos consecutivos fue traficado 2 veces en la misma huella.

En cada línea de siembra de las parcelas correspondientes a cada tratamiento se establecieron los sitios de medición de las diferentes variables respuesta. Para ello se procedió a la aleatorización por sorteo de la ubicación de cada determinación estableciendo 10 unidades de 4 metros de longitud, retirándose luego de cada sorteo la parcela correspondiente. Dentro de cada tratamiento, en cada repetición, se estableció un total de 5 unidades de muestreo correspondientes a:

- a) 2 unidades de muestreo para la medición de la profundidad de siembra, de 1 m de longitud cada una.
- b) 2 unidades de muestreo para la medición de la tasa de emergencia y la eficiencia de implantación de 2 m de longitud cada una.
- c) 1 unidad de muestreo, para la medición de la humedad gravimétrica. Se tomaron muestras de suelo, en dos lugares en tres estratos (0-50mm; 50-100mm; 100-150mm), uno en forma coincidente con la línea de cultivo y otro a 50 mm de distancia a ambos lados de la misma.



### ***Profundidad de la semilla en la siembra***

La variable profundidad de ubicación de la semilla, fue determinada por medio del método de remoción manual de los agregados de la línea de siembra, en acuerdo con lo efectuado por Thompson (1993), midiendo la distancia entre la superficie del suelo en la línea de siembra y la ubicación de la semilla. Para ello, se esperó a que se produzca la emisión de la radícula para evitar el desplazamiento de la semilla durante el proceso de remoción del suelo.

Las determinaciones se realizaron en una longitud de un metro de surco, desplazando la tierra lateralmente hasta descubrir la semilla, colocando luego una regla para referencia de la cota del terreno y posterior medición con precisión de un mm, como se muestra en la figura (19).



Figura 19: Muestreo de profundidad de siembra.

### ***Humedad de surco***

La humedad del suelo se determinó sobre la línea de siembra y a 50 mm de distancia, en forma previa y a los 9 días de efectuada la siembra con el objeto de evaluar la pérdida de humedad. Para ello se utilizó el método del cilindro para la extracción de la muestra la cual se pesó en forma inmediata para luego ser llevada a estufa a 105°C hasta peso constante (Forsythe, 1975). La profundidad de muestreo fue en correspondencia con los estratos de 0 a 50mm, 50-100 mm y 100 a 150 mm de profundidad.

### ***Implantación***

La emergencia se tomó como el total de plantas emergidas durante el período de evaluación.



Para ello se evaluaron dos metros lineales de cada unidad de muestreo, a partir del 9no día de la siembra, (8 de octubre) y cuatro muestreos hasta llegar a los 38 días posteriores a la siembra (11-14-18 de octubre y 6 de noviembre). Como total de semillas distribuidas se tomó en primera instancia las correspondientes a la densidad teórica establecida a nivel general del ensayo.

El diseño utilizado fue en bloques al azar.

## ***Caracterización física de suelo***

### ***Densidad de suelo***

Sé tomaron muestras de densidad aparente, según el método del cilindro descripto por Forsythe (1975), de 0-50, 50-100, 100-150 mm.

### ***Humedad de suelo***

Se usó el método tradicional de laboratorio, por diferencia de peso, entre el peso húmedo y el peso seco a 105°C, descripto por Forsythe (1975).

### ***Esfuerzo de tracción y carga vertical***

Para la medición de los parámetros de prestación tractiva se realizaron pasadas de 50 metros de longitud, dentro de las cuales se tomaron como parcela de medición los 30 m centrales a los efectos de establecer una velocidad de desplazamiento homogénea del conjunto tractor-carro dinamométrico. Cada tratamiento fue repetido 5 veces sobre un terreno uniforme aleatorizándose la ubicación dentro del lote de cada una de las pasadas correspondientes a cada tratamiento sobre un diseño de bloques apareados.

Posteriormente los datos relevados y almacenados en el adquisidor de datos fueron descargados a una computadora mediante el software “Hércules versión 3.1.2.” y procesados mediante el programa “Excel”<sup>®</sup>.

### ***Análisis estadístico***

Debido a la variación en la humedad y densidad aparente, que según Sánchez-Girón (1996), son factores que modifican la resistencia del suelo al laboreo afectando como consecuencia el tiro y la carga del implemento para la penetración, se decidió usar un modelo de diseño experimental de bloques apareados. Los bloques fueron dispuestos de forma tal que los valores de densidad tuviesen para los distintos tratamientos la menor variación, figura 20. Dentro de cada uno de los bloques se realizaron los 4 tratamientos ubicados en forma aleatoria en sectores homogéneos dentro de cada uno de ellos.

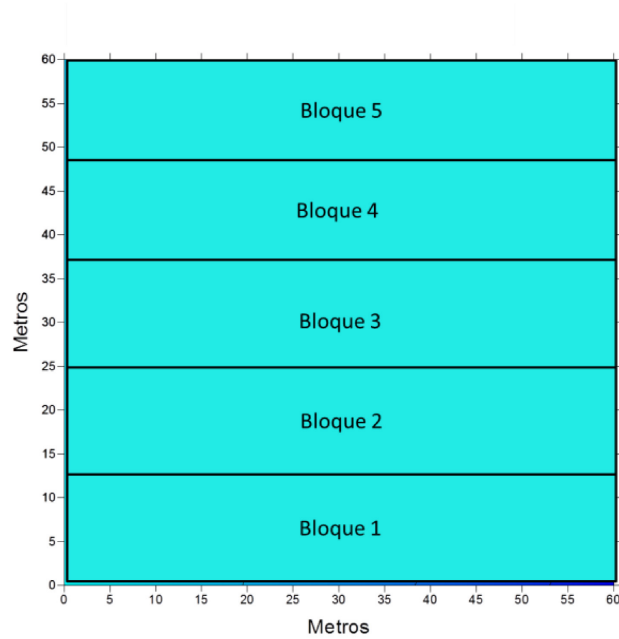


Figura 20: Distribución de los bloques en el diseño experimental.

Para los parámetros relacionados a los aspectos energéticos, de emergencia e implantación, sobre los resultados obtenidos durante los ensayos se realizaron análisis de varianza siendo la significancia de las diferencias establecidas a través del test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizándose para ello el software “Statistica 7”.

## Resultados y Discusión

### Ensayos de implantación de cultivo de trigo

#### *Humedad*

La humedad del suelo en el área donde se realizó la siembra, al momento de efectuarse la misma, aumentó con la profundidad. Para la profundidad de 0-50 mm se encontraron diferencias significativas con respecto al muestreo de 100-150 mm, siendo este último un 34,4 % mayor que el muestreo superficial. En la figura 21 se observan los contenidos de humedad gravimétrica para las profundidades muestreadas. Esta distribución es típica de los suelos que se encuentran en el período de barbecho, al final de una estación lluviosa y el comienzo de una etapa con mayores déficits de humedad.

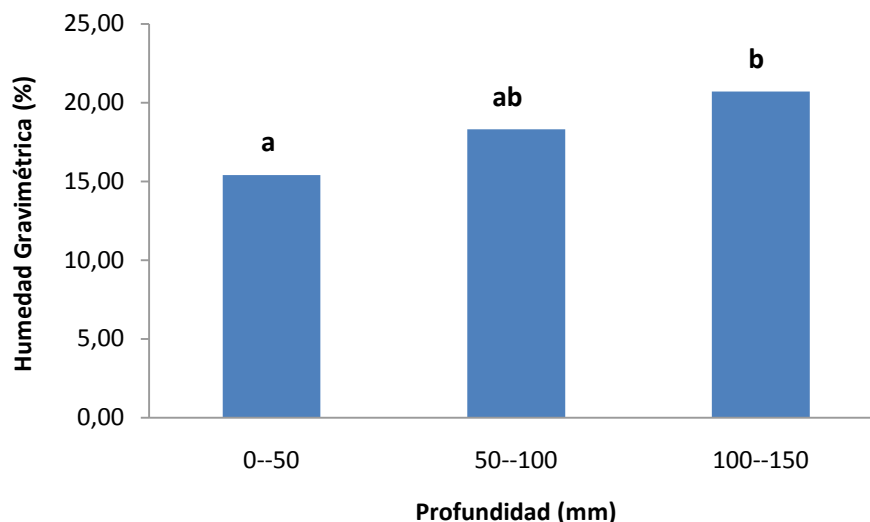


Figura 21: Humedad gravimétrica (%) del área experimental para las tres profundidades de suelo estudiadas al momento de siembra del cultivo. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Ocho días después de la siembra se tomaron datos de humedad sobre la línea de siembra y en los sectores adyacentes a la misma, a 50 mm de distancia. Posteriormente al muestreo se produjo una lluvia intensa de 60 mm que saturó

inicialmente el perfil en toda el área experimental, eliminando a partir de ese momento la existencia de diferencias durante el período de implantación del cultivo hasta el final de la emergencia. Por otra parte, el surco tuvo una pérdida de humedad respecto al sector adyacente al mismo, que mantuvo un patrón de distribución de humedad en el suelo, similar a la toma de humedad previa a la siembra (figura 22).

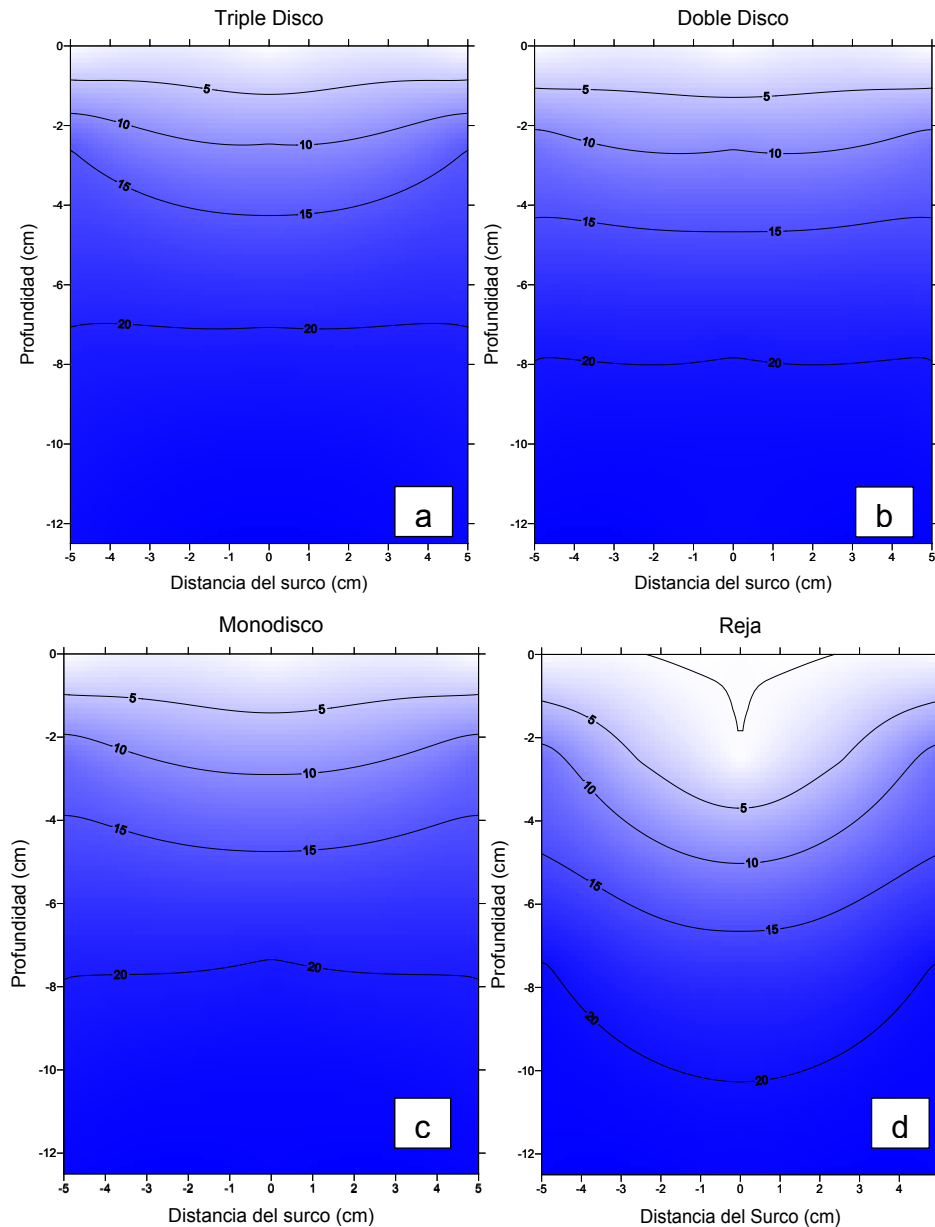


Figura 22: Distribución de la humedad gravimétrica (%) en el surco (0 cm) y el adyacente (-5;5 cm), 8 días posterior a la siembra, para los cuatro trenes de siembra ensayados a:TD; b: DD; c: MD; d: R.

Las determinaciones de humedad del surco entre 0 y 50 mm de profundidad de los diferentes trenes de siembra no fueron estadísticamente diferentes. Sin embargo, el nivel de probabilidad obtenido,  $P=0,061$ , es muy cercano al 5%, por lo cual existió al menos una tendencia diferente de los tratamientos en cuanto a los niveles de humedad en el suelo a nivel superficial. El tren de siembra de reja tiene la menor humedad (Figura 23), 53,54% inferior al TD que tuvo los mayores registros, por lo que la ausencia de diferencias estadísticamente significativas debe explicarse por la variabilidad de los datos registrados. Según Tessier (1991) la menor humedad en R puede ser atribuida a una mayor roturación y mayor volumen de suelo removido, debido a las características del tren de siembra, aunque esto puede variar con el tipo de reja, su ángulo de ataque (Godwin & O'Dogherty, 2007) y las características del suelo (Sánchez-Girón, 1996). También este mayor movimiento de suelo en superficie generaría una mayor pérdida de humedad según Baker et al.,(2007). En este sentido, la mayor pérdida de humedad en la línea de siembra también puede ser ocasionada por la mayor profundidad de trabajo, según Rahman & Chen (2000), quienes indican que, a medida que la profundidad de trabajo aumenta, también aumenta la cantidad de suelo disturbado. Las diferencias entre los trenes de siembra de discos entre sí fueron pequeñas, manteniendo el orden de mayor a menor de TD, DD y MD.

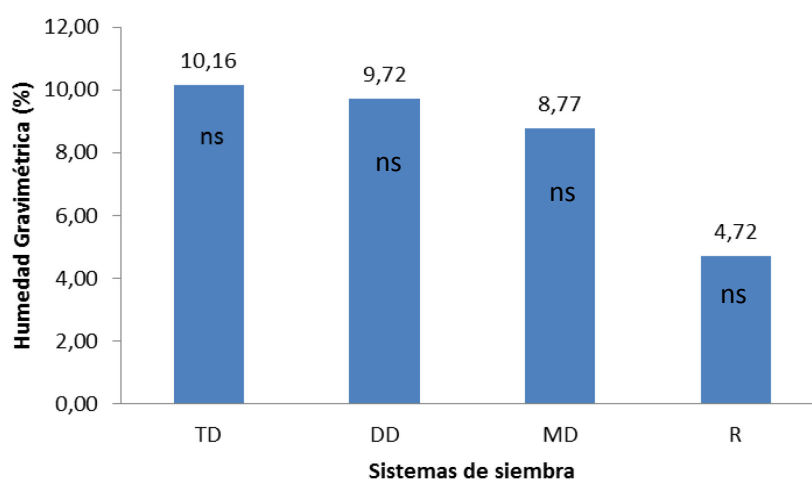


Figura 23: Humedad gravimétrica del surco de los distintos trenes de siembra a una profundidad de 0 a 50 mm. TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Monodisco; R: Disco y reja. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según el test de  $p \leq 0,05$

En relación a las condiciones de humedad en las diferentes posiciones evaluadas, se determinaron diferencias significativas entre las mismas, independientemente del tren de siembra, con menores valores para el surco con respecto a los sectores adyacentes, para el estrato de 0-5 cm profundidad ( $p \leq 0,01$ ) sin que se haya determinado significancia entre sectores de medición y trenes de siembra.

Los resultados son en general esperables, en función de múltiples antecedentes de labores de labranza, primaria, secundaria o siembra que favorecen un aumento en la tasa de evaporación, producto del incremento de espacio poroso en la sección de suelo roturada por los distintos aperos y órganos activos. Ello produce también una depresión de la humedad en los sectores adyacentes con el paso del tiempo, en la medida que no se produzcan nuevos aportes de precipitaciones.

En cuanto a los efectos de los distintos trenes de siembra sobre la humedad del ambiente en el que se ubicará la semilla (Tabla 2), el tren de siembra R fue el único tratamiento que presentó diferencias significativas entre el surco y el sector adyacente al mismo, lo cual puede relacionarse con el área y la intensidad de roturación del suelo. Fue el tratamiento que mayor movimiento de suelo generó sobre el surco, disminuyendo la humedad del mismo

Tabla 2: Humedad gravimétrica de los diferentes abresurcos en el surco y en el sector adyacente (5 cm), TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Mono disco; R: Reja, a la profundidad de muestreo de 0-5, 5-10 y 10 a 15 cm. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según el test de Tukey  $p \leq 0,05$ ; ns: no significativa.

	TD		DD		MD		R	
Prof.	Surco	Adyacente	Surco	Adyacente	Surco	Adyacente	Surco	Adyacente
0-5	10,2 ab	14,9 b	9,7 ab	11,9 b	8,8ab	13,0 b	4,7 a	11,8 b
5-10	20,5 ns	20,4 ns	19,7 ns	19,8 ns	20,2 ns	19,8 ns	17,1 ns	20,2 ns
10-15	22,8 b	22 ab	21,1 ab	21,6 ab	22,1 ab	22 ab	20,8 a	21 ab

En el estrato 5-10 cm de profundidad no existieron diferencias significativas entre las posiciones surco y adyacente al surco (Tabla 2). Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas en la humedad del surco por debajo de los 10 cm para los trenes de siembra, sin encontrar interacción entre el lugar de muestreo y el tren de siembra. Las diferencias entre el TD y R fueron 9,7 % mayores para el

primero, lo cual podría atribuirse a que este último tuvo una mayor profundidad de trabajo de la reja con respecto a la cuchilla del TD, alcanzando el estrato de 10 a 15 cm en su parte superior, modificando la humedad en el mismo, como consecuencia de la roturación del suelo. Esto concuerda con la afirmación de Choudhary & Baker (1982) en cuanto a la importancia del tipo de abresurco, ya que los diferentes diseños de abresurcos pueden generar diferentes condiciones edáficas alrededor de la semilla.



## Emergencia

El análisis de los datos muestra diferencias significativas entre los diferentes trenes de siembra, en 2 de las 5 fechas de evaluación (Tabla 3). En la primera, en la cuarta y quinta fecha no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos pese a las importantes diferencias en emergencia, lo cual debe atribuirse a la variabilidad de los valores, correspondiente a los inicios del proceso de germinación y emergencia. En las 2 evaluaciones intermedias que se encontraron diferencias significativas entre R y DD, este último tratamiento tuvo en ambas instancias de evaluación los menores valores de emergencia, resultando el MD y el TD similares entre sí y no diferenciados tanto de R y DD.

Tabla 3: Emergencia de los distintos trenes de siembra en las distintas fechas de evaluación. Letras diferentes en cada columna de los tratamientos y en la fila del promedio, indican diferencias significativas para los distintos tratamientos y para las distintas fechas según el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

	08-oct		11-oct		14-oct		18-oct		06-nov	
	Plantas/m	Desvío	Plantas/m	Desvío	Plantas/m	Desvío	Plantas/m	Desvío	Plantas/m	Desvío
Monodisco	22,2 a	17,4	34,7 ab	18,1	38,8 ab	18,0	40,3 a	17,0	31,8 a	16,8
Doble disco	11,9 a	7,8	20,9 a	9,4	25,8 a	12,1	24,9 a	10,6	17,3 a	9,6
Triple disco	27,9 a	23,6	37,3 ab	21,6	39,8 ab	19,4	39,9 a	19,1	29,9 a	11,9
Reja	30,3 a	13,7	47,4 b	15,1	47,1 b	15,3	44,4 a	14,4	30,8 a	16,2
Promedio	23,1 a		35,1 b		37,9 b		37,4 b		27,5 ab	
Desvío	8,2		10,9		8,9		8,6		6,8	

El tren de siembra R tuvo una mejor emergencia en las primeras 4 fechas de evaluación comparado con los demás tratamientos aunque no en todas las fechas presentó diferencias significativas (Tabla 3), alcanzando una mayor tasa de emergencia a partir del número de plantas en cada una de las instancias de medición, en coincidencia con los resultados de Wilkins et al., (1983). Esto pudo deberse a una profundidad del surco mayor que los demás tratamientos, por lo que la semilla fue colocada en un estrato del suelo con mayor contenido de humedad, siendo uno de los parámetros de mayor importancia en la germinación según

Lindstrom (1976) y Tessier (1991). A su vez, la combinación de la cuchilla por delante de la reja redujo los riesgos de atoraduras citados por Desbioles (2008), en acuerdo con lo indicado por Kepner et al., (1982). El conjunto reja estrecha y ruedas compactadoras con alta carga habrían incidido también en la mejora del contacto semilla suelo (Allen, 1988) y como consecuencia en la emergencia del cultivo.

A partir de los datos de humedad del suelo y de la profundidad aparente de siembra se estimó la humedad en el sitio de la semilla para los diferentes tratamientos realizando una regresión de cada muestreo (Tabla 4).

Tabla 4: Regresión de la humedad y la profundidad para los diferentes muestreos de los distintos trenes de siembra. TD: triple disco; DD: doble disco; MD: monodisco; R: reja; 1, 2, 3: zonas de muestreo, repeticiones, para cada tren de siembra

Tren de siembra	Ecuación	$r^2$	Profundidad de siembra	Estimación de la Humedad en la zona de la semilla
TD1	$y=9,6497(\ln x)-0,9792$	0,9795	5,32	15,15
TD2	$y=7,2179(\ln x)+5,739$	0,9497	5,32	17,80
TD3	$y=7,4602(\ln x)+4,4707$	0,9952	5,32	16,94
DD1	$y=7,5665(\ln x)+3,7754$	0,9541	4,93	15,85
DD2	$y=5,9578(\ln x)+6,8316$	0,9493	4,93	16,34
DD3	$y=8,7063(\ln x)-0,4603$	0,968	4,93	13,43
MD1	$y=10,074(\ln x)-2,9293$	0,9488	4,59	12,42
MD2	$y=7,7204(\ln x)+4,3916$	0,969	4,59	16,15
MD3	$y=8,0687(\ln x)+0,9795$	0,9795	4,59	14,88
R1	$y=10,73(\ln x)-4,9752$	0,9712	11,66	21,38
R2	$y=9,6816(\ln x)-3,9572$	0,9798	11,66	19,82
R3	$y=10,074(\ln x)-4,0209$	0,9462	11,66	20,72

Los datos de humedad predichos para la profundidad donde fue colocada la semilla fueron analizados estadísticamente, dando diferencias significativas en el contenido de humedad disponible para la semilla a favor del abresurco de reja (Figura 24). Los abresurcos TD, DD y MD no tuvieron diferencias significativas en la disponibilidad de humedad gravimétrica del suelo al momento de siembra. Sin embargo la diferencia de la humedad de la zona de la semilla, a favor del tren de siembra R, estuvo dada por la diferencia en la profundidad de surco.

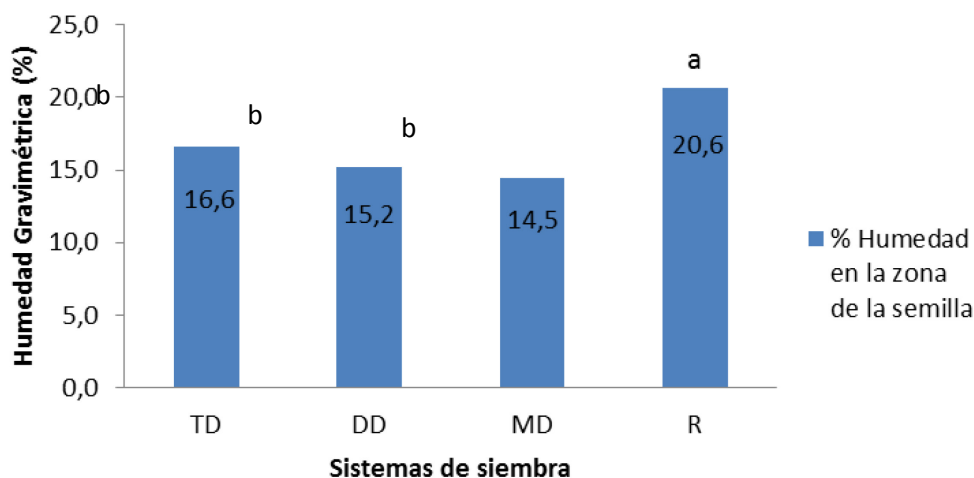


Figura 24: Humedad gravimétrica del suelo, para la zona donde se encuentra la semilla según los diferentes sistemas de siembra. TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Monodisco; R: Disco y reja. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tukey  $p \leq 0,05$

No obstante, tal como fuera explicado en el párrafo precedente, no alcanzó diferencias significativas con el MD ni con el TD, mientras que sí con el DD. Estas diferencias pueden deberse principalmente a 3 factores, actuando probablemente en forma conjunta. Por un lado puede contribuir a la mejor implantación la mayor capacidad de corte de residuos. Tanto R como TD cuentan con una cuchilla circular por delante del abresurco, que por sus características de diseño, diámetro y presencia de ondulaciones habrían permitido alcanzar una velocidad tangencial de la cuchilla que favorece el corte del residuo según Chancellor (1988) y Tola y Desbiolles (2009). El MD no cuenta con cuchilla de corte de residuos independiente pero, por contar con una cuchilla de gran diámetro, mayor al del DD posiblemente no tuvo limitaciones en este aspecto. El segundo aspecto a tener en cuenta es la aptitud de roturación del suelo de cada uno de los trenes de siembra evaluados. Es reconocida la capacidad de las cuchillas onduladas de roturar una estrecha franja de suelo en el surco, que facilita la emergencia y favorece un mejor contacto semilla suelo (Tesouro et al. 2009). Si bien los trenes de siembra MD son habitualmente deficientes en este aspecto, generando una pared compactada (Pochat & Pozzolo 2000), el diseño del tratamiento MD con angulación frontal y vertical favorece no

solamente una mayor capacidad de penetración, sino también una mayor roturación del suelo. Esto habría favorecido una mejora en la emergencia, lograda por el mejor ambiente generado a través de la remoción y una menor densidad aparente en la línea de siembra (Nasr, 1995). A la vez, la inclinación de la cuchilla también produciría una menor compactación lateral, de manera similar a los efectos alcanzados por la incorporación de cuchillas de corte y roturación por delante del monodisco (Iqbal et al., 1998; Kuswaha et al., 1986). No obstante, la disposición inclinada del monodisco no pareciera que pudiese disminuir eventualmente la incorporación de rastrojo en la zona de ubicación de la semilla y lograr un mejor contacto suelo-semilla, en condiciones que dificulten el corte de los restos vegetales, indicado como un aspecto de relevancia por Erbach et al., (1986). Sin embargo, para las condiciones del ensayo, no resulta necesaria la incorporación al MD de una cuchilla delantera de corte de residuos y roturación tal como indica Bragachini et al., (2001), ya que este sistema no tuvo diferencias significativas con ninguno de los trenes de siembra ensayados en la implantación del cultivo.

Los resultados presentan cierta correlación con lo informado por Christiani et al., (2000) quienes no encuentran efectos positivos de la incorporación de cuchillas por delante del MD en siembras superficiales, pero sí en siembras profundas de trigo. A diferencia de estos tres tratamientos, el DD no cuenta con elementos de corte y roturación delanteros, los discos son planos y no generan demasiada tierra fina capaz de mantener un buen contacto con la semilla de trigo. Por último, y estrechamente vinculado a la roturación del suelo y generación de agregados de pequeño tamaño, se encuentra el hecho que es el único tratamiento que no cuenta con ningún órgano que apriete la semilla para generar un buen contacto suelo-semilla. La incorporación de estos órganos de trabajo ayuda no solamente al adecuado contacto y además restituye humedad en el área de la semilla por capilaridad, aunque Baker et al., (2007) concluyen que sobre este tema existen dudas acerca de los beneficios de generar una mayor presión por encima de la semilla.

En cuanto a las fechas de muestreo las mismas tuvieron diferencias significativas entre el primer muestreo y los 3 subsiguientes. El último muestreo al cual se lo considera como implantación, no se diferenció de ningún muestreo anterior.

El tren de siembra R fue el único que alcanzó los mayores valores en la segunda instancia de evaluación, correspondiente al día 11 de octubre, mientras que el resto de los trenes de siembra alcanzaron la máxima emergencia para el día 18 de octubre. La fecha del 7 de noviembre, presentó menor cantidad de plantas emergidas para la totalidad de los tratamientos, sin diferencias de implantación entre R, TD y MD (Figura 25). La mayor velocidad de germinación y emergencia del tren de siembra R puede ser debida a que generó mejores condiciones para que el suelo le brinde el agua en fase líquida a la semilla, debido a la presencia de la rueda compactadora, además posiblemente se genere una mayor temperatura del surco debido a la mayor roturación este tipo de abresurco, aumentando la velocidad de germinación (Lindstrom et al. 1976).

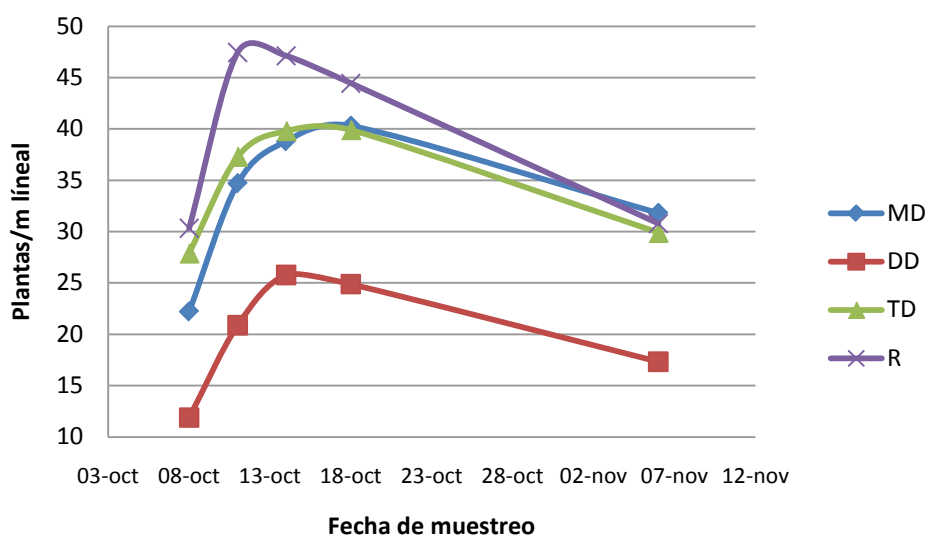


Figura 25: Emergencia de los distintos trenes de siembras ensayados en los diferentes momentos de muestreo. TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Monodisco; R: Disco y reja.

Aunque los tres abresurcos de discos (MD; DD; TD) no se diferenciaron entre sí significativamente, se visualiza una tendencia diferente entre los mismos. Los valores medios del DD fueron a partir de la primera fecha de medición entre un 13% a un 15% menores aproximadamente que los demás (42 a 43% menores en relación a la emergencia del resto de los trenes de siembra). Esta tendencia puede ser debida a que el tren de siembra del DD, no presentó ningún órgano contactador de

semilla, no alcanzando las dos ruedas tapadoras a dejar la semilla con un buen contacto con el suelo, disminuyendo así el porcentaje de emergencia, en acuerdo con resultados similares encontrados por Staggenborg et al. (2004) y Håkansson et al., (2011) para la siembra de maíz y de cebada respectivamente.

En función de los resultados alcanzados, las diferencias entre el número de plantas emergidas en relación a las sembradas (posibles de obtener) distan de ser mínimas para todos los trenes de siembra. Esto implicaría, según lo expresado por Maroni et al., (2005) que la siembra con tren de siembra doble disco no califica como una buena siembra para el cultivo de trigo, en las condiciones prevalecientes durante el período de implantación del cultivo. En general, la máxima emergencia se produjo en un lapso reducido, alcanzando valores del 95% para R y cercanos al 80% para MD y TD a los 12 días para el primero y entre los 15 y los 18 días para los otros dos sistemas. El sistema DD también alcanzó la máxima emergencia a los 15 días, pero con niveles que apenas superaron el 50%. También es posible afirmar lo expresado por Fey et al., (2001) en cuanto a que más allá de la incidencia del sistema de siembra de cultivos empleado, los mecanismos abresurco asociados a diferentes sistemas de siembra y la humedad del suelo inciden sobre la implantación de los cultivos.

### ***Profundidad de siembra***

La profundidad de siembra efectiva, alcanzó un promedio de 5,57 cm para el conjunto de los tratamientos, sin diferencias significativas entre los mismos. La misma puede parecer excesiva para las recomendaciones generales de la siembras de trigo, pero resulta frecuente en la zona de realización del ensayo. Con la mayor profundidad de siembra se busca asegurar la germinación y emergencia del cultivo, por una mayor humedad y continuidad en la provisión de agua a la semilla. Por lo contrario, las siembras muy superficiales presentan gran variación en la implantación de los cereales de invierno, como consecuencia de la escasa disponibilidad de humedad superficial que el suelo suele presentar, debido al aumento de la evaporación una vez que el surco de siembra ha sido roturado. Si bien la profundidad de siembra no tuvo diferencias significativas entre tratamientos, la profundidad del surco si fue significativamente mayor en el tren de siembra R (Tabla 5), lo cual puede ser explicado por los elementos constitutivos de los distintos trenes de siembra y sus características de diseño y ubicación. Todos los tratamientos presentaron ruedas para limitar la profundidad del surco, pero de diferente forma. En general, todos los trenes de siembra de discos poseían ruedas limitadoras de la profundidad adosadas a los abresurcos, con doble rueda para los de TD y DD y con una rueda simple para el MD. Dicha ubicación permite en general un mejor control de la ubicación de la semilla en el surco, por una estrecha correlación entre la profundidad del surco y el lugar donde la semilla es liberada por el tubo de descarga. Además, las ruedas limitadoras se desplazan en una superficie irregular dada por la presencia de residuos y por los microrelieves del terreno, pero la condición mecánica del mismo es generalmente firme, al ubicarse en forma adyacente al surco de siembra.

Tabla 5: Profundidad de siembra y profundidad de surco para los distintos tratamientos, TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Mono disco; R: Reja, a profundidades de muestreo de 0-5, 5-10 y 10 a 15 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas según el test de  $p \leq 0,05$ .

	<b>Profundidad de surco</b>	<b>Profundidad de siembra</b>	
	<b>Promedio (cm)</b>	<b>Promedio (cm)</b>	<b>Desvío</b>
<b>Triple disco</b>	<b>5,32 a</b>	<b>5,32 a</b>	<b>0,33</b>
<b>Doble disco</b>	<b>4,93 a</b>	<b>5,73 a</b>	<b>0,79</b>
<b>Monodisco</b>	<b>4,59 a</b>	<b>4,59 a</b>	<b>0,70</b>
<b>Reja</b>	<b>11,66 b</b>	<b>6,66 a</b>	<b>0,85</b>

Por lo contrario, el tren de siembra R presenta las ruedas que asisten al control de la profundidad de siembra por detrás del mecanismo abresurco. Ello implica que existe un desfase en el “copiado” de las irregularidades del suelo entre los distintos órganos de trabajo y los elementos de control que afecta a la homogeneidad en la profundidad de trabajo y de ubicación de la semilla. Además, como la rueda de control de profundidad se desplaza en línea con el abresurco de reja, realizando también el compactado de la tierra sobre la semilla, la misma trabaja sobre suelo suelto, conformando un surco profundo, con dificultades para mantener la profundidad constante. Esto explica la mayor variabilidad de profundidad, cuantificada a partir de los desvíos (Tabla 5) que tuvo el tratamiento R. Estas características de trabajo del conjunto de los elementos constitutivos del tren de siembra R, habría favorecido un ambiente de baja densidad y resistencia a la penetración, en una zona de mayor humedad y con capilaridad parcialmente restituida por el trabajo de la rueda controladora de profundidad, que explicaría la mayor tasa de emergencia en los primeros 15 días, lo cual aumentaría la emergencia según Håkansson et al., (2011). Por lo contrario el TD tuvo la menor variación en la profundidad lo que puede deberse en parte a que presenta doble rueda limitadora al costado del abresurco, que trabajan en balancín, lo que genera un mejor copiado de las irregularidades del terreno y una disminución de las variaciones en profundidad.

Sin embargo estos datos no coinciden con los planteados por Doan et al., (2005) que expresan que los abresurcos de disco tienden a variar más la profundidad de



siembra, aunque no explicita la conformación del abresurco, la presión de trabajo, la velocidad de trabajo ni la dureza del terreno. Sin embargo, durante el ensayo no se le limitó la carga vertical para que la profundidad del surco sea constante, lo cual permitió a todos los trenes de siembra alcanzar la profundidad media de siembra buscada. Por un lado la mayor profundidad de trabajo de la cuchilla ondulada del TD garantizó una adecuada condición de trabajo del mecanismo abresurco, el cual no vería afectada su prestación en uniformidad de siembra en relación a la condición mecánica del suelo, lo que permitiría explicar su mejor desempeño asociado también al sistema de copiado de las irregularidades del terreno . En este aspecto, la mayor precisión en la ubicación de la semilla en profundidad fue alcanzada por el TD, con variaciones inferiores al 50 % en términos absolutos al resto de los trenes de siembra. Dada la importancia de este factor según Wilkins et al., (1983) para lograr una adecuada germinación y emergencia en el cultivo de trigo, sería una de las causas de relevancia para explicar la prestación del TD junto a las variables analizadas en forma precedente. Sin embargo, la mayor profundidad de labor y uniformidad en la ubicación de la semilla no permitieron alcanzar los beneficios sugeridos por Romito et al., (2011) de permitir mejoras en la implantación del cultivo, quizás porque la cantidad de residuos remanentes al momento de efectuar la labor no fue la principal limitante para el desempeño de los diferentes sistemas.

Por lo tanto, la afirmación de Chaudhury (2001) de una baja aptitud de los abresurcos de discos para la penetración e implantación de cultivos debería entenderse en el contexto de trenes de siembra de doble disco sin cuchilla de corte delantero y con una masa insuficiente para garantizar una profundidad de trabajo constante.

Asimismo, las dificultades mencionadas por Baker et al., (2007) y Righes et al., (1990) también son adjudicables al trabajo de abresurcos de doble disco plano, sin generación de agregados pequeños, en forma previa, por parte de una cuchilla delantera ondulada. En este mismo sentido, los resultados contradicen también las afirmaciones de Sanavishiri & Raoufat (2006) en cuanto a la imposibilidad de los abresurcos de discos de colocar la semilla a la profundidad deseada.

La adición de este diseño de cuchillas, evitaría los inconvenientes de compactación del surco, aumento de densidad aparente y resistencia a la penetración citados por

Vamerali et al., (2006) y Wilkins et al., (1983). La conformación del surco previo, a una profundidad de casi 3 cm por debajo de la de siembra, con una cuchilla ondulada de 7 mm de ancho produce un aflojamiento del suelo que reduce o elimina las dificultades mencionadas por Tesouro et al., (2009). Por ello, la compactación en el ambiente de la semilla no debería haber afectado, tal como concluyen Nasr & Seles (1995), la velocidad de emergencia y la emergencia total en aquellos sistemas que incorporan elementos de roturación del suelo a mayores profundidades de la de siembra. Por lo contrario, el DD fue el único sistema en el que la profundidad de la semilla fue mayor a la profundidad promedio del surco, debido al exceso de tapado generado por las dobles ruedas tapadoras.

El DD podría indicar que se habrían generado condiciones de mayor compactación lateral y superior que en el resto de los sistemas, siendo también una posible explicación del menor número de plantas logrado en todas las instancias de medición.

Los resultados difieren también de los de Pochat & Pozzolo (2000) en cuanto a la prestación de los abresurcos de monodisco, ya que los mismos no se diferenciaron de los TD y el R, alcanzando mejor prestación que el DD. Las características de diseño del MD utilizado, junto a las diferencias de humedad y textura entre ambos ensayos serían las razones principales de las diferencias encontradas con dichos autores. La profundidad de labor, las características de roturación, la uniformidad en la ubicación de la semilla y la humedad presente en el ambiente de la semilla han sido determinantes para explicar los resultados alcanzados por los diferentes trenes de siembra. La prestación de cada uno de los trenes de siembra se fundamenta en uno o más de dichos factores. Tal como fuera analizado por Gargicevich & Maroni (1997) dichos factores adquieren mayor relevancia en el resultado final de siembras sobre suelos con poca humedad edáfica, siendo importante conocer los comportamientos de los trenes de siembra para decidir su elección.

En acuerdo con los resultados de la evaluación de emergencia para los diferentes trenes de siembra se puede validar la primera hipótesis de trabajo formulada, que afirma que el tren de siembra con sistemas abresurcos de rejas aladas permite al menos igual eficiencia de emergencia e implantación que los sistemas con abresurcos de discos.

También es posible validar la cuarta hipótesis de trabajo formulada que afirma que los diferentes sistemas de siembra presentan diferencias en la humedad del suelo en el ambiente de la semilla.

## Ensayo energético

### *Velocidad de trabajo*

En la tabla 6 se muestran los valores medios de velocidad de trabajo para los distintos tratamientos. Se encontraron diferencias significativas en la velocidad de desplazamiento la cual varió entre 5,8 y 7,2 km h<sup>-1</sup> entre los distintos tratamientos, correspondiendo la menor velocidad al abresurco TD y la mayor al R, el cual no se diferenció del DD y ambos fueron estadísticamente distintos al MD. En general, la velocidad de trabajo fue muy homogénea para los distintos tratamientos en cada uno de los bloques, ya que los desvíos estándar variaron en 0,037 km h<sup>-1</sup> para el TD y 0,209 km h<sup>-1</sup> para el DD, mientras que R y MD tuvieron una desviación estándar de 0,107 y 0,102 respectivamente.

Estas diferencias en la velocidad de avance de los conjuntos pueden tener importancia en el comportamiento de los distintos abresurcos, tanto en lo referente a esfuerzo de tracción como así también en la carga vertical requerida para la penetración. En acuerdo con Faganello & Dallmeyer (1990) un incremento en la velocidad puede determinar un aumento en la fuerza vertical necesaria para la penetración de las cuchillas y modificaciones en la profundidad de trabajo aunque Rahman & Chen, (2000) mencionan que los efectos de la velocidad son de menor importancia que los de la profundidad para este factor. No obstante lo expuesto, tal como se mencionó anteriormente, las diferencias de velocidad entre R, MD y DD no superaron los 0,4 km h<sup>-1</sup>, por lo cual es dable esperar que no se registren variaciones por este motivo. El TD, en cambio, muestra una diferencia de 1,4 km h<sup>-1</sup> por lo que eventualmente podría estimarse una tendencia a mayor profundidad de labor y una reducción consecuente de la carga vertical necesaria para la penetración en este tratamiento, si la profundidad se mantiene constante. No obstante, la variación puede considerarse, pese a la significancia estadística, como estrecha y poco probable de generar variaciones de importancia en los aspectos energéticos, en acuerdo con los resultados obtenidos por Oliveira Dias (2009) quienes concluyen que la profundidad de trabajo no resulta dependiente de la velocidad de trabajo en el rango de 6,2 a 12,6 km h<sup>-1</sup>. Tampoco deberían esperarse cambios en los esfuerzos de tracción, teniendo en cuenta los resultados de Massote Pereira et al (2008) cuyos

datos indican una variación de tan solo 12,5 kg por línea de trabajo con un aumento de 2 km h<sup>-1</sup> de velocidad, lo cual representa solamente un 3,83% del esfuerzo por línea registrado. La velocidad si bien resultó menor fue sumamente constante en los diferentes bloques tal como marcan los desvíos establecidos que se visualizan en la tabla 6.

Tabla 6: Velocidad media de trabajo y coeficiente de desviación estándar de los diferentes tratamientos de trenes de siembra.

	<b>Vel. Km h<sup>-1</sup></b>	<b>Desvío std.</b>
<b>R</b>	<b>7,2 c</b>	<b>0,107</b>
<b>MD</b>	<b>6,8 b</b>	<b>0,102</b>
<b>DD</b>	<b>7 c</b>	<b>0,209</b>
<b>TD</b>	<b>5,8 a</b>	<b>0,037</b>

En función de lo expuesto sería pertinente considerar que la variación en la velocidad es debida a aspectos relacionados con características intrínsecas al diseño y constitución del TD u operativas del tractor. En un marco de análisis general, la velocidad de trabajo de un conjunto tractor apero, a velocidad de régimen del motor del tractor máxima, es función del nivel de la carga que actúa sobre la velocidad del motor y del patinamiento del conjunto, el cual es también función del esfuerzo de tracción. De todas formas, de no mediar diferencias en la profundidad de labor, la reducción de la velocidad de avance debería eventualmente reducir el esfuerzo de tracción y no incrementarlo. De todas formas, los niveles de esfuerzo medidos no deberían ocasionar diferencias significativas en el patinamiento del tractor, como así tampoco una disminución importante del régimen del motor, no encontrándose explicación a una variación de esa magnitud.

### **Carga vertical**

En la Figura 26, se visualizan los resultados de la fuerza vertical requerida para la penetración para los distintos trenes de siembra. Existieron diferencias significativas entre la totalidad de los trenes de siembra, sin que se encontraran diferencias significativas entre bloques ni tampoco significancia de la interacción entre bloques y trenes de siembra.

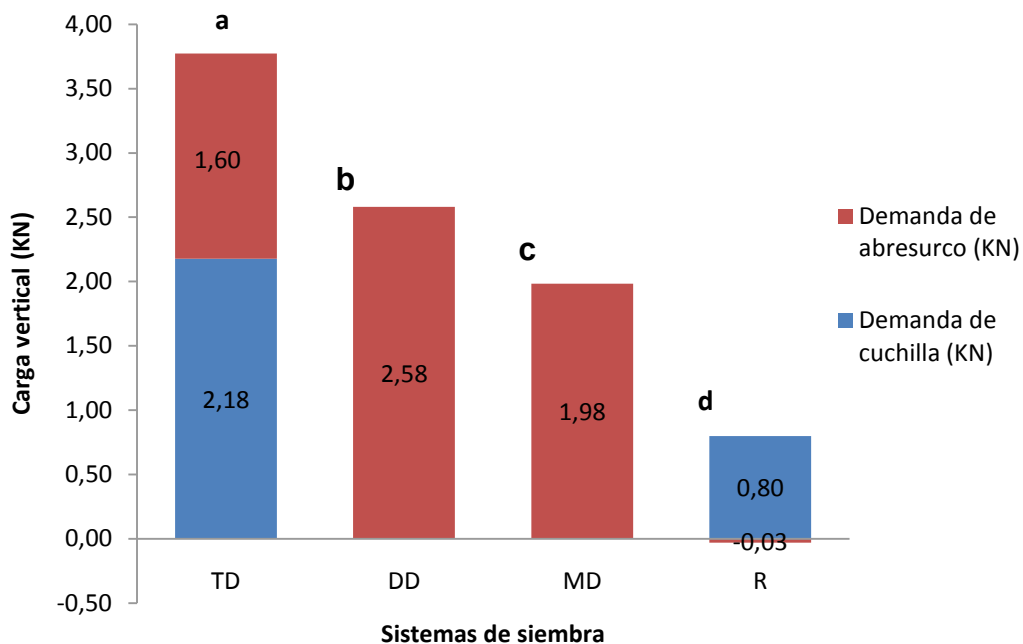


Figura 26: Fuerza requerida (KN) para la penetración de los diferentes abresurcos. TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Monodisco; R: Disco y reja. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según el test de  $p \leq 0,05$ .

Los mayores requerimientos de masa correspondieron al tren de siembra de TD, seguido del DD, MD y R. El TD tuvo una demanda de masa de 3,77 kN (385 kg) para poder penetrar en el suelo a la profundidad de trabajo. Esta alta demanda comparada con los demás trenes de siembra fue dada mayoritariamente por la cuchilla de microlabranza, la cual tuvo una incidencia del 58 % de la masa requerida para penetrar el tren de siembra, a una profundidad de 8 cm, 2,5 cm por debajo de la profundidad del surco de siembra. Valores de carga similares, del orden de 2,35 KN (240 kg), fueron usados por Arbex Silva (2007) para alcanzar una profundidad de

trabajo de alrededor de 60 mm, en un suelo arcilloso, con una cuchilla ondulada tipo rippled de 355 mm de diámetro. Los valores de carga de la cuchilla turbo en el TD, fueron muy superiores a los reportados por Tola & Desbiolles (2009), quienes determinan valores medios para una cuchilla de 433 mm (17" ) de 1,2 kN (122,4 kg) a similar profundidad de trabajo sobre un canal edafométrico con un suelo arenoso franco con densidad de  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ . Estas diferencias podrían en parte explicarse por una mayor superficie de trabajo y de contacto de la cuchilla dada por el mayor diámetro, 457 mm (18") y número de ondulaciones (33) con respecto a la usada por Tola & Desbiolles (2009). Además, también podrían haber incidido las diferencias texturales (suelo más arenoso), la humedad al momento de realizar los ensayos (6%) y la menor estructuración del terreno del canal, pese a su mayor densidad aparente. No puede dejarse de lado al respecto, que la resistencia a la penetración del suelo al momento de realización del ensayo, superior a 5 MPa a nivel superficial, impidió la caracterización del perfil a través de dicho parámetro. No obstante, la condición de humedad del lote y la resistencia mecánica del suelo no es poco frecuente para este tipo de suelos al momento de realizar la siembra bajo siembra directa.

Bai & Zhang (2011) por su parte alcanzaron profundidades de trabajo del orden de los 73 mm con 1,33 KN (136 kg) de carga sobre la cuchilla turbo de 430 mm de diámetro y de 110 mm de profundidad con 1,69 KN (172 kg) de carga a  $0,25 \text{ m s}^{-1}$ . La mayor profundidad con menores cargas puede relacionarse también a la diferencia de diámetro de las cuchillas trabajando a velocidades de avance extremadamente lentas, como así también a las diferencias en el estado mecánico del suelo.

El DD tuvo un requerimiento de masa de 2,58 KN (263,2 kg), lo cual representa un 68,4 % de la masa requerida por el tren de siembra TD, mientras que fue un 61,7% mayor que el abresurco del TD.

Estos abresurcos trabajaron a una profundidad similar, en el rango de 50 a 53 mm. Las diferencias de esfuerzo son principalmente explicadas por el hecho que el DD trabaja sobre suelo no disturbado, mientras que en el TD los abresurcos se desplazan parcialmente dentro del suelo trabajado por la cuchilla turbo. Esta

característica, genera menores esfuerzos sobre el mecanismo abresurco que permitiría una mayor duración y menor desgaste del mismo.

No obstante, dicha conformación (TD) podría resultar difícil de alcanzar, cuando es necesario trabajar a elevada profundidad, o cuando la capacidad de penetración resulta limitada por escaso peso de la máquina sembradora y/o limitaciones en la potencia disponible en el tractor, Bragachini et al., (2012) sugieren además una profundidad de trabajo de la cuchilla de 4 a 8 cm requerida para lograr un adecuado trabajo del cuerpo de siembra para el caso de siembras de maíz.

Los requerimientos de carga para la penetración del MD fueron en promedio de 1,98 KN (202,5 kg), representando un 52,5% de la masa requerida por el TD, y un 76,8 % de la del DD. (Figura 26). Por lo tanto fue el sistema abresurco, entre los constituidos únicamente por discos, que tuvo los menores requerimientos. Los resultados son coincidentes con lo afirmado por Pochat & Pozzolo (2000) en relación a la mayor capacidad de penetración de las sembradoras equipadas con abresurcos de diseño Monodisco en comparación con las de doble disco. Los autores relacionan dichas diferencias en función de la mayor presión específica de los diseños Monodisco con respecto a los Doble disco, atribuida seguramente a una menor superficie de contacto para un peso no demasiado diferente del conjunto, en la medida que lo único que cambia es el abresurco. No obstante existen diferencias en las cuchillas a las cuales hacen mención Pochat & Pozzolo (2000) en el Monodisco, ya que las mismas no presentan las características de angulación con respecto al avance y a la vertical del utilizado en este ensayo. El ángulo de la cuchilla con respecto al avance de 7° y su inclinación con respecto a la vertical de 5,8°, podrían en conjunto haber incidido sobre la capacidad de penetración y reducción de la carga necesaria para alcanzar la profundidad deseada, ya que es posible hipotetizar la generación de una componente vertical del esfuerzo de tracción que asista a tales fines. No obstante, los valores requeridos para la penetración del conjunto fueron superiores a los indicados por Karayel & Sarauskis (2001), tanto para este tren de siembra como también para el DD.

Por lo contrario, fueron muy inferiores a los medidos por McLaughlin et al., (2006) sobre un suelo arcillo seco, como así también de los informados por Vaishnav (1983) en cuchillas lisas de 460 mm de diámetro. Esto demuestra la gran variabilidad



de cargas requeridas para distintas condiciones y tipos de suelo, lo cual atenta contra la posibilidad de usar una masa reducida en las máquinas sembradoras, en la medida que se requiera trabajar aún en condiciones que no resultan ideales para su desempeño.

Los resultados del ensayo difieren también con lo afirmado por Bragachini et al., (2001), en relación a los requerimientos de carga para la penetración para los trenes de siembra TD y MD. Los mismos indican que el TD necesita una carga de un 10 a un 20% mayor con respecto a un MD. En este caso, la carga necesaria para la penetración del TD superó en un 90% los requerimientos del MD, ya que los mismos se encontraron en el orden de los 1,96KN (200 kg), mientras que el TD alcanzó 3,77KN (385 kg). Estas relaciones pueden modificarse sustancialmente en la medida que se modifique la profundidad relativa de la cuchilla de corte y roturación del TD con respecto a la del abresurco. No obstante la afirmación efectuada por Bragachini et al. (2001) se realizó en un contexto de recomendación de trabajo de la cuchilla turbo del TD que duplique a la profundidad en que será colocada la semilla. En este caso, la cuchilla del TD trabajó a una profundidad de labor un 60% superior a la de siembra, menor a la recomendada en líneas generales por los autores.

Finalmente, el tren de siembra R fue el de menores requerimientos, con diferencias significativas con la totalidad de los otros tratamientos. Los valores medios, de 0,77 KN (78,54 kg) representan tan solo un 20,4% de la masa requerida por el TD. Por otra parte, tal como se visualiza en la Figura 26 la demanda de carga de la cuchilla, independientemente del resto del abresurco fue de 0,8KN (81,49 kg), lo cual representa un 36,68% de lo cuantificado para la cuchilla del TD. La diferencia de carga en este caso, únicamente es atribuible a la profundidad de trabajo, ya que la cuchilla utilizada fue la misma. Estos resultados sugieren en primera instancia un incremento del 172,62 % para un aumento de profundidad de 3 cm, lo cual implica un 40,9 % de incremento por cada cm de aumento de la profundidad de labor, aunque seguramente dicho incremento no fue lineal. Los resultados, en general, concuerdan con los determinados por Cocharan et al., (1974) en cuanto a la importancia en la variación de carga necesaria para la penetración, para relativamente pequeños incrementos de la profundidad de labor. Difieren en cambio

parcialmente con los resultados obtenidos por Schaaf et al., (1981), ya que para un incremento de más del 100% en la profundidad de labor solamente registró un aumento del 45% en la carga vertical.

El balance de fuerzas del abresurco de la R fue prácticamente neutro, ya que se registró una fuerza negativa, de 0,03KN (2,96 kg) kg, que debe entenderse que asistió a la penetración, venciendo a la fuerza del suelo que se opone a la penetración de los cuerpos. En las cargas que asisten a la penetración, se debe contabilizar el peso del abresurco que no es soportado por la estructura a través del paralelogramo que lo vincula al chasis del carro dinamométrico (37 kg) y la fuerza en el plano vertical hacia abajo generada por la reja propiamente dicha. Los resultados, resultan semejantes a los que obtuvieron Mammanb & Oni (2005) y pueden atribuirse al ángulo de ataque de la reja, de 36°. Estos valores coinciden con lo expresado por Ashburner & Sims (1984), que indican que ángulos similares generan una succión ayudando a que la reja penetre en el suelo.

Los resultados, sustentan lo concluido por Seidi et al., (2010), para los trenes de siembra con sistemas de corte del suelo y apertura del surco con discos, en cuanto a que sobre los mismos se ejerce una fuerza vertical negativa, por lo que se demanda el agregado de peso para penetrar en el suelo, a diferencia de los trenes de siembra del tipo reja, con ángulos menores a 45°, donde se genera una fuerza positiva para penetrar en el suelo. Estos resultados validan también lo expuesto por Payne & Tanner (1959) en cuanto a la conveniencia de uso de ángulos inferiores a los 45° cuando se utilizan rejas estrechas para favorecer la disminución de la masa requerida para la penetración

Esto es lo que explica que, al contrario de lo que ocurrió con el resto de los diseños de tren de siembra y como era de esperar, R fuese el único que no requiere peso adicional al de sus propios elementos para el trabajo del abresurco, por lo cual los requerimientos de peso total de la máquina sembradora son mucho menores a los necesarios para cualquiera de los otros diseños.

Desde este punto de vista, vinculado a los requerimientos de peso de los equipos para alcanzar la profundidad de siembra deseada, los resultados confirman algunas evaluaciones respecto de las máquinas de siembra directa en relación con las necesidades de adecuar las fuerzas verticales requeridas para la penetración, en

muchas máquinas, con el peso y características del bastidor (Morrison et al., 1996). Asimismo, coinciden y reafirman lo expresado por Baker et al., (2007), en cuanto a que la fuerza vertical requerida para la penetración que ejerce un tren de siembra, afecta considerablemente el diseño del chasis de la sembradora y el consumo energético que requiere la misma para su correcto funcionamiento. Es importante destacar al respecto que, en muchos casos, las necesidades de los fabricantes de máquinas sembradoras hacen que la estructura básica de soporte, el bastidor y muchos de los órganos y mecanismos que asisten a los órganos de trabajo sean los mismos, independientemente de los reales requerimientos de carga para la penetración del equipo. Esto puede ocasionar tanto déficits como excesos de carga según cuál sea la configuración final y los recaudos o hipótesis de diseño general. En un caso puede significar que la máquina encuentre dificultades para la penetración en condiciones de baja humedad o alta capacidad portante del suelo, mientras que en el otro extremo los riesgos pueden ser asociados a procesos de compactación en condiciones de humedad habitual para el proceso de siembra, dado por el exceso de carga sobre los mecanismos de soporte y traslado de la máquina como así también los trenes rodantes que asisten al control de la profundidad de trabajo de los mecanismos abresurcos. Lo mismo ocurre en cuanto al número de órganos activos para la siembra de granos finos y gruesos con una misma máquina, sacando o adicionando unidades de siembra a una estructura básica.

En acuerdo con los resultados de la evaluación de la carga requerida para la penetración de cada tren de siembra, en las condiciones habitualmente recomendadas de uso, es posible validar la segunda hipótesis de trabajo formulada, que afirma que el tren de siembra constituido por cuchilla de corte de residuos y mecanismo abresurco de reja alada requiere menor masa para la penetración del conjunto.

## ***Esfuerzo de Tracción***

En la figura 27 se muestran los valores de esfuerzo de tracción para los diferentes tratamientos diferenciando los componentes constitutivos en la medida que existiesen órganos de trabajo para el corte de los residuos independientes del resto del tren de siembra.

Los mayores esfuerzos de tracción correspondieron al TD y los menores al MD resultando en general los requerimientos tractivos de la reja más cercanos al TD y los de DD a los del MD. La totalidad de los tratamientos fueron significativamente diferentes entre sí.

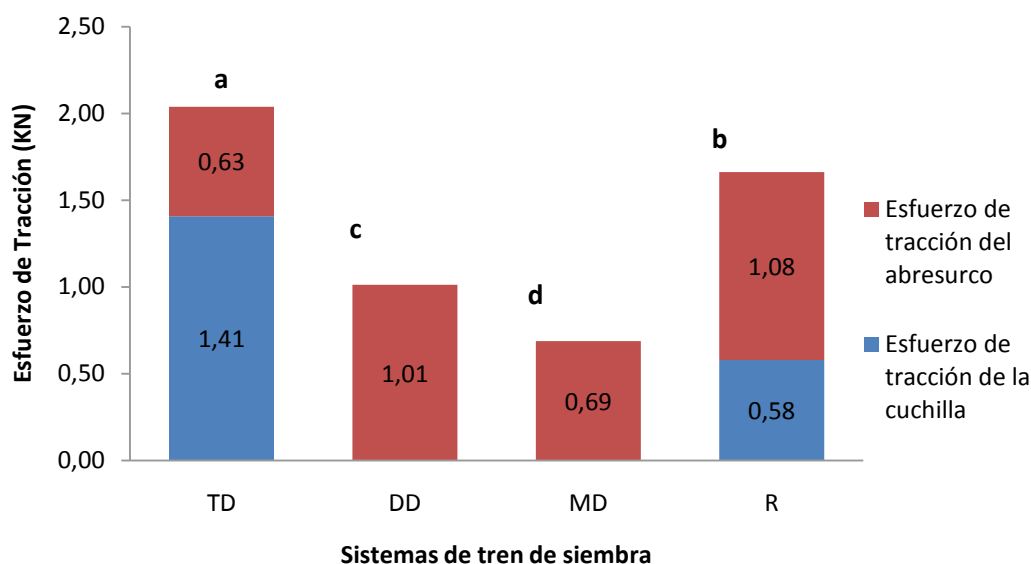


Figura 27: Esfuerzo de tracción para los distintos tratamientos. TD: Triple disco; DD: Doble disco; MD: Monodisco; R: Disco y reja. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según el test de  $p \leq 0,05$ .

En un análisis preliminar y elemental de los resultados, los mismos responden en la demanda de esfuerzo de tracción al número de órganos activos y a la profundidad de trabajo de los mismos. En general, los antecedentes avalan la incidencia de estos factores. Pozzolo & Ferrari (2007) relacionan las prestaciones de los trenes de siembra, en los aspectos vinculados a la capacidad de penetración, a la cantidad de elementos, discos, que conforman los mismos. Indican que a igualdad de peso, aquellos que tienen mayor número de órganos activos alcanzarán menor profundidad de trabajo. Es por ello posible entender que de la misma forma, un

mayor número de discos en el tren de siembra implicará la necesidad de contar con mayor peso para alcanzar una determinada profundidad. Teniendo en cuenta la relación existente entre la carga vertical y el esfuerzo de tracción (Tola & Desbiolles, 2009) resulta lógico que el TD sea el de mayor esfuerzo, seguido por el DD y por último el MD. Asimismo, el esfuerzo de cada disco respondería a la profundidad de trabajo, por lo cual la cuchilla del TD demandaría mayor tracción que la de R. También resulta comprensible que R por el número de órganos activos y profundidad de trabajo de los mismos se encuentre en los mayores requerimientos tractivos.

Tal como se visualiza en la figura 27, el componente del tren de siembra del TD que incide para alcanzar los mayores valores de esfuerzo traccional fue la cuchilla de corte de residuos y roturación del suelo, representando un 69% del tiro demandado. Los valores son cercanos a los encontrados por Modernel da Silveira et al. (2011) quienes obtuvieron una demanda de tiro de 2,42 KN (246 kg) para un abresurco triple disco trabajando a una profundidad de 90 mm y a una velocidad de 7 km h<sup>-1</sup>. No obstante, cabe destacar la presencia en el implemento de una reja donde se incorporaba el fertilizante.

El tratamiento R tuvo una demanda de tiro también elevada, alcanzando valores 18,3% inferiores al TD pero 65% mayores al tren de siembra DD y 142% superiores al MD.

En la figura 27, se visualiza de forma clara que los requerimientos de esfuerzo de tracción de la cuchilla y el abresurco se encuentran invertidos para los trenes de siembra de TD y R. Esto resulta comprensible desde el punto de vista que los mayores esfuerzos de tracción se relacionan con los elementos que roturan el suelo y es dicha función la que determina el incremento de esfuerzo de tiro y no el corte de los residuos. En el TD la roturación del suelo es efectuada principalmente por la cuchilla de corte de residuo y remoción de 457 mm trabajando a 80 mm de profundidad. En el R, en cambio, la roturación del suelo es efectuada por el conjunto de elementos cuchilla de corte de residuo y remoción, a 5 cm de profundidad y reja a una profundidad de aproximadamente 11,7 cm, si se tiene en cuenta la profundidad media alcanzada por este sistema durante la siembra del cultivo. Los resultados difieren con lo que expresan Lawson et al. (2011) quienes relacionan el trabajo de

trenes de siembra de discos con menores esfuerzos de tracción que los de dientes, a la menor profundidad de trabajo de los discos con respecto a los trenes de siembra con dientes. En este caso, seguramente la cuchilla de corte y roturación fue ubicada a mayor profundidad de trabajo que lo usual en el área de investigación reportada por Lawson et al (2011), en acuerdo con recomendaciones técnicas de Bragachini et al. (2012). Sin embargo, el esfuerzo de tracción de R fue menor pese a una profundidad media de labor 37 mm mayor en promedio. Cabe aclarar, que las diferencias mencionadas en dicho trabajo se relacionan a dientes sin el trabajo delantero de cuchillas circulares. Estas cuchillas, generalmente han sido empleadas tanto para auxiliar en el corte vertical del suelo como de los residuos vegetales y disminuir las posibilidades de atoraduras (Kepner et al., 1982). Además del corte de los residuos producido por la cuchilla circular, se provoca la formación de un canal incrementando la capacidad de paso de los órganos activos (Riley & Fielke, 1990; Srivastava et al., 1994). Al respecto, Fielke y O'Driscoll (1986) trabajando con cuchillas circulares por delante de rejas de 400 mm de ancho concluyeron que la adición de aquellas favorecía el movimiento del suelo hacia los costados en detrimento de la elevación del mismo. Indicaron además la formación de un cuerpo de arcilla por delante de la reja, que no es desplazado de ese sitio debido al corte del terreno producido por las cuchillas trabajando en la línea de acción de las rejas, con una visible reducción de la remoción del suelo.

En la figura 28a y 28b, puede verse la diferencia de la condición del terreno, a nivel superficial, con y sin la adición de la cuchilla de corte de residuos delantera respectivamente, con una mayor uniformidad y menores apariciones de terrones de mayor granulometría elevados y desplazados habitualmente por el trabajo de las rejas.



Figura 28 a (Izq.) y 28 b (Der.): surco generado por el tren de siembra R, donde se puede observar el movimiento de suelo con y sin cuchilla labradora por delante del abresurco.

Por otra parte, Balbuena et al. (2009) y Terminiello et al., (1997) determinaron que en el trabajo de rejas sin cuchillas y con cuchillas circulares lisas en diferentes ubicaciones se producía una reducción del esfuerzo de tracción como así también modificaciones en la eficiencia de roturación. En este sentido, los resultados de menores esfuerzos de tracción para el trabajo del tren de siembra R, podrían ser explicados en parte por el trabajo conjunto de cuchillas y rejas, en el cual el esfuerzo de tracción de la reja, puede haberse reducido por el corte realizado previamente por la cuchilla, ubicada en la misma línea de acción, al reducir en parte los efectos laterales de roturación, produciendo una menor área labrada por la reja.

En relación con los aspectos de diseño de las rejas, las rejas utilizadas en este conjunto tenían un ángulo de  $36^\circ$ , ligeramente superior al rango mencionado por Chaudhury (2001) de  $25^\circ$  a  $30^\circ$  en el cual se producen los menores esfuerzos de tracción. Los bajos requerimientos también concuerdan con lo mencionado por Darmora & Pandeyb (1995), quienes afirman que una baja demanda de fuerza horizontal se obtiene con una reja abridora angosta con ángulos de  $40^\circ$  o menos.

El DD tuvo una demanda de tiro de 1,01 kN (103,3 kg), lo cual representa un 49,7% de lo demandado por el TD, trabajando ambos abresurcos a la misma profundidad. Los valores de esfuerzo tractivo, sin embargo, difieren con los resultados de esfuerzos determinados por Huijsmans et al., (1998) en los cuales existe un rango de variación de 0,2 kN (20,6 kg) a 0,7 kN (72 kg) trabajando a una profundidad de 50 mm en un suelo de textura arenosa con un contenido de humedad del 21%. Esta menor demanda energética podría atribuirse a que el suelo se encontraba con mayor contenido de humedad, lo que ocasionaría un menor esfuerzo de tracción. Sin embargo Ashrafi Zadeh (2006) y Sánchez-Girón et al. (2005) encontraron un aumento en los esfuerzos cuando se aumenta el nivel de humedad cuando se trabaja con un conjunto de una cuchilla plana y una reja sobre un suelo franco en un canal edafométrico.

En cuanto al sistema DD tuvo un 47% más de demanda energética que el abresurco MD. Datos similares se obtuvieron en los aspectos vinculados a la demanda de carga para la penetración del equipo, lo que podría indicar una cierta correspondencia entre los requerimientos de carga y de esfuerzo de tracción, en acuerdo con lo encontrado por Tola & Desbiolles (2009).

Si en cambio se comparan los esfuerzos de los abresurcos doble disco de los tratamientos DD y TD (Figura 27), el correspondiente al TD requirió un 37,8% menor esfuerzo de tracción que el DD sin cuchillas de corte de residuos y micro labranza, para una misma profundidad de labor. Esta diferencia puede deberse a que el abresurco del TD trabaja sobre un suelo previamente labrado por la cuchilla labradora mientras que el DD tiene lo hace sobre suelo sin labranza previa. Bragachini et al., (2005) realizan consideraciones con respecto a esta interacción entre las cuchillas de corte y roturación y el trabajo de los abresurcos de doble disco, para la implantación de soja, indicando que la carga necesaria para la penetración de los mismos dependerá del diámetro de los discos y del trabajo previo que hizo la cuchilla de corte de residuos. Al respecto y teniendo en cuenta las relaciones entre la carga requerida para la penetración y el esfuerzo de tracción, por encontrar un suelo más duro, no previamente trabajado, tendrá también un mayor esfuerzo de tracción.



El MD fue el tren de siembra que requirió los menores esfuerzos de tracción ya que demandó un tiro de solamente 0,69 KN (70,5 kg) trabajando a una profundidad de 55 mm, representando un 33,9 % de lo que demanda el TD sembrando a la misma profundidad. Los registros fueron inferiores a los encontrados por Vaishnav (1983). Esta menor demanda de tiro, es seguramente el resultado de un conjunto de factores que afectan al esfuerzo de tracción de los discos de los distintos trenes de siembra. Las diferencias de esfuerzo de tracción con el trabajo de la cuchilla del triple disco puede en parte explicarse por la diferencia de profundidad de trabajo de la cuchilla del triple disco, como así también con las características de diseño de la cuchilla, con mayor superficie de contacto dada por las ondulaciones que asisten al movimiento de la cuchilla, corte del residuo y roturación del suelo. Por lo contrario, el esfuerzo de tracción del MD resultó mayor a la demanda de la cuchilla turbo de R, tratamiento en que ambos elementos se desempeñaron a la misma profundidad de labor. Los resultados resultan contrarios a los de Tola & Desbiolles (2009) pero los mismos no son realmente comparables. En sus ensayos, las cuchillas lisas siempre demandaron menor esfuerzo de tracción que cualquiera de las cuchillas corrugadas fuesen las mismas con ondulaciones radiales o tangenciales. Esta diferencia, de un 18% mayor esfuerzo de tracción se explica por el hecho que el esfuerzo del MD incluye los elementos de contactado y cierre del surco. No obstante, un aspecto principal es que la cuchilla del MD presenta un ángulo de cruce con respecto al avance y un ángulo de inclinación con respecto a la vertical, los cuales es de esperar que aumenten los requerimientos tractivos con respecto a una cuchilla circular lisa vertical que trabaje sin ángulo frontal, ya que generan una mayor área de trabajo y movimiento de suelo en su desplazamiento.

Si comparamos los esfuerzos de la cuchilla del TD con la de R, los mismos fueron de 1,41 KN (143,7 kg) y 0,59 KN (60 kg) de tiro respectivamente. Esto puede explicarse por las diferentes profundidades de trabajo, ya que en el TD la cuchilla trabajó a 80 mm de profundidad y en la R a 50 mm. Los resultados concuerdan con los obtenidos por Arbex Silva (2007), en cuanto a las mayores cargas para penetración en suelos duros, que conllevan una demanda mayor de esfuerzo de tracción en ensayos efectuados sobre distintos diseños de cuchillas circulares en distintas condiciones de suelo. Asimismo, reafirman lo expresado por Collins &

Fowler (1996) en que la profundidad de siembra tiene una gran influencia sobre la demanda de tiro. El incremento de esfuerzo de tracción no se relacionaría en primera instancia con una reducción de la velocidad de giro de la cuchilla, en acuerdo con lo reportado por Choi & Erbach (1986) para cuchillas de menor diámetro con aumentos de profundidad de un rango similar.

Estos datos coinciden también con los resultados de Tola & Desbiolles (2009), aunque las fuerzas obtenidas son menores, seguramente debido al tipo de suelo y condiciones del mismo, al efectuarse en un caso sobre un canal edafométrico con un suelo franco arenoso, uniformemente preparado, sin residuos, mientras que en las condiciones de campo el suelo era de textura franco y su estado mecánico con una alta resistencia a la penetración. También puede haber incidido la humedad del suelo según lo analizado por Ashrafi Zadeh (2006). De igual forma, se acercan a lo expresado por Desbiolles (2008) quien encontró que, con un aumento de la profundidad al doble, la demanda de tiro se incrementa cuatro veces.

Sin embargo, las demandas de tracción fueron inferiores a las establecidas por Bai & Zhang (2011) con una cuchilla de 17" de diámetro trabajando a 80 mm de profundidad, con una cuchilla turbo de 20 ondas con una amplitud de las mismas de 8 mm. En ese sentido puede influir también el diámetro de las cuchillas, el número de ondas y su amplitud.

La incidencia de la profundidad de trabajo con los requerimientos de carga vertical y de tracción tiene una alta correlación con el incremento de la longitud de contacto de la cuchilla con el suelo según Tola & Desbiolles (2009). Sin embargo consideran, en base a datos no mostrados, que las relaciones entre el aumento de tracción y el área de contacto de la cuchilla con el suelo deben ser más investigadas, ya que brindan predicciones más ajustadas. Si bien resulta claro que una mayor profundidad genera aumentos en los esfuerzos de tracción, la respuesta no es lineal. Tomando en cuenta el modo de cálculo de la longitud de contacto efectuado por Tola & Desbiolles (2009) tal como se visualiza en la figura 29, se procedió al cálculo del mismo para las condiciones de trabajo de las cuchillas turbo a 50 mm y a 80 mm de profundidad.

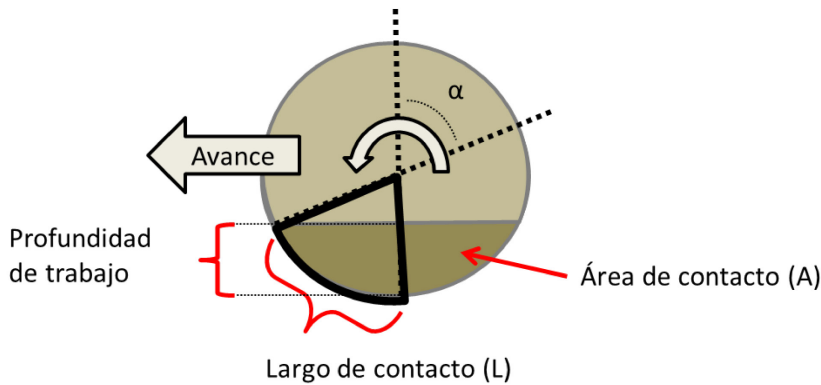


Figura 29: Esquema de una cuchilla circular y la longitud y área de contacto de la misma para una determinada profundidad de trabajo.

Asimismo se calculó el área de contacto (Figura 29) pudiendo observarse los resultados en la Tabla 7. Los resultados obtenidos en condiciones de campo, indicaron que para un incremento de la profundidad de un 60% la fuerza de tiro demandada por las cuchillas se incrementó en un 143%, la longitud de contacto creció un 28% y el área de contacto un 98,15%. Si se toman las variaciones de esfuerzo por unidad de cada parámetro establecido vinculadas a cada unidad, se visualiza que la demanda específica de fuerza fue la que menos varió para la mayor profundidad en relación a la menor profundidad de trabajo ya que pasó de  $2,98 \text{ kN m}^{-2}$  a  $3,65 \text{ kN m}^{-2}$  lo cual implica un incremento de este parámetro de tan solo el 22,48 %. Ello indica que éste parámetro, es el que en mayor medida explica la variación en el esfuerzo de tracción con el incremento de profundidad de trabajo, validando también lo dicho por Gerber et al., (1994) quienes concluyeron que la fuerza de tiro se puede representar en una función no lineal con la profundidad.

Tabla 7: Demanda de esfuerzos de tracción, área, largo y ángulo de contacto con el suelo de la cuchilla de 17", trabajando a 50 y 80 mm de profundidad.

Profundidad	Tracción (kN)	L (mm)	$\alpha$ (°)	Área (cm <sup>2</sup> )
50 mm (a)	0,58	154	38,65	194,67
80 mm (b)	1,41	197	49,49	385,63
	kN cm <sup>-1</sup> prof	KN m <sup>-1</sup> filo		kN m <sup>-2</sup>
50 mm (a)	0,116	3,76		2,98
80 mm (b)	0,176	7,15		3,66
Variación (%)	51,72	90,16		22,82

No obstante, lo antedicho incurre en una simplificación de un proceso más complejo que incluye el corte del suelo y residuos vegetales, la existencia de zonas de compresión de suelo, roturación de agregados, rozamiento y elevación de terrones previamente desagregados. Este conjunto de fuerzas, relativamente constantes algunas y variables en distinto grado otras para distintas condiciones de trabajo explican en forma conjunta aquellos incrementos de esfuerzo que no pueden asignarse a solamente el área de contacto entre la cuchilla y el suelo.

En este sentido, los incrementos de profundidad para una misma cuchilla producen un desplazamiento hacia atrás del punto de aplicación de la fuerza que implica una variación importante de la fuerza vertical, la cual es más sensible a dicha variación que la fuerza horizontal, tal como demuestran Tice & Hendrick (1992) y Tola & Desbiolles (2009).

En las figuras 30 y 31 se grafican las relaciones entre las cargas verticales y los esfuerzos de tracción para las diferentes profundidades de trabajo de la cuchilla de corte de residuo y remoción a 50 mm de profundidad en el tratamiento R y a 80 mm en el TD. Los datos confirman la tendencia mencionada por Tola & Desbiolles (2009) en las relaciones entre ambos parámetros de prestación. Además, también reafirman los cambios en las respuestas entre ambos parámetros con mayores pendientes en los requerimientos de carga vertical para el trabajo superficial en comparación con el de mayor profundidad, aunque dichas diferencias no alcanzan la magnitud de lo reportado para los valores medios de un conjunto de cuchillas lisas y estriadas que no incluyen el diseño turbo. Sin embargo el análisis de regresión

muestra diferencias en los coeficientes calculados, producto de la variabilidad de los datos en condiciones de campo en relación a lo que acontece en un canal edafométrico. En la primera de las situaciones se encuentran contrastados la totalidad de los datos de todas las series (repeticiones). Los valores de  $R^2$  fueron de 0,624 y 0,616 para la menor y mayor profundidad de trabajo, mientras que en el canal fueron de 0,87 y 0,91 respectivamente.

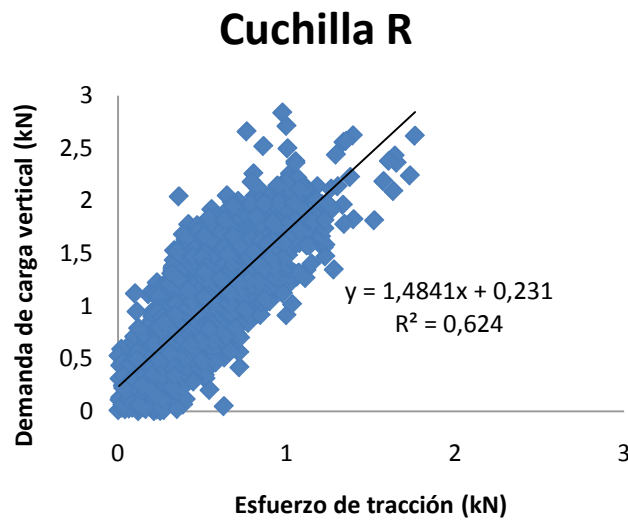


Figura 30: Regresión entre esfuerzos de tracción y demanda de carga vertical para una cuchilla de 457 mm de diámetro trabajando a 50 mm de profundidad a una velocidad de 7,2 km/h.

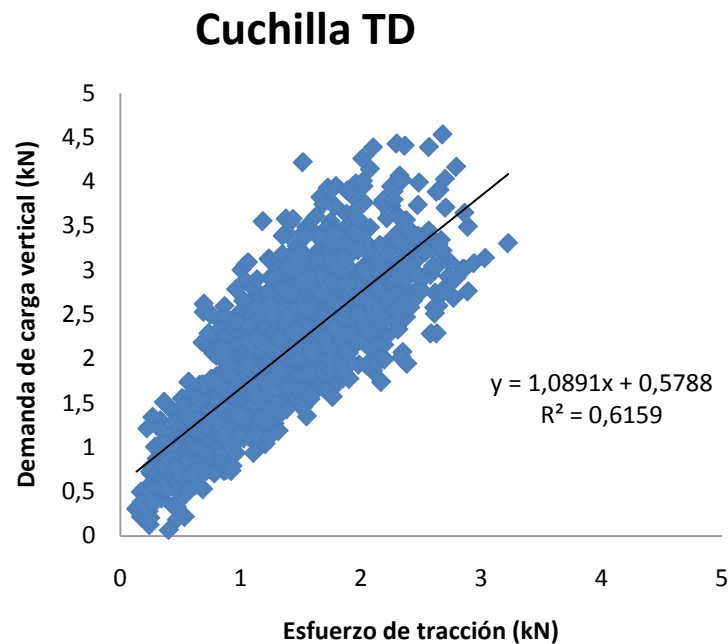


Figura 30: Regresión entre esfuerzos de tracción y demanda de carga vertical para una cuchilla de 457 mm de diámetro trabajando a 80 mm de profundidad a una velocidad de 5,8 km/h.

Tal como se desprende de los figuras 30 y 31, para cada profundidad de trabajo se registró una gran variabilidad de requerimientos de esfuerzo de tracción como de cargas verticales en las cuchillas de corte de residuos y roturación del suelo. Por otra parte, los valores de esfuerzos de tracción fueron muy variables también entre los distintos trenes de siembra evaluados (Figura 27). En función de ello, tal como fuera afirmado por Baker et al. (2007), es necesario adecuar el diseño del chasis de la sembradora al conjunto de cargas verticales y horizontales que requiere la misma para su correcto funcionamiento. Dicha adecuación no solamente se relaciona con los diferentes diseños sino también con las condiciones del suelo en las cuales se realiza la labor, como de las variables operativas de profundidad de trabajo, tanto para los trenes de siembra de discos como de rejas.

En acuerdo con los resultados obtenidos de la demanda de esfuerzos de tracción para cada tren de siembra, en las condiciones de ensayo, es posible rechazar la tercera hipótesis de trabajo formulada, que afirma que el tren de siembra de disco requiere menores esfuerzos de tracción que los de reja.

## Potencia

La potencia demandada por los diferentes trenes de siembra estuvo influenciada por las diferentes velocidades de trabajo de los tratamientos y las diferencias de esfuerzo de tiro. Los tratamientos R y TD registraron las mayores demandas de potencia (Figura 32) sin tener diferencias estadísticamente significativas entre ellos pero sí con los demás tratamientos. Por su parte, el MD y el DD también se diferenciaron entre sí, correspondiendo al MD los menores valores.

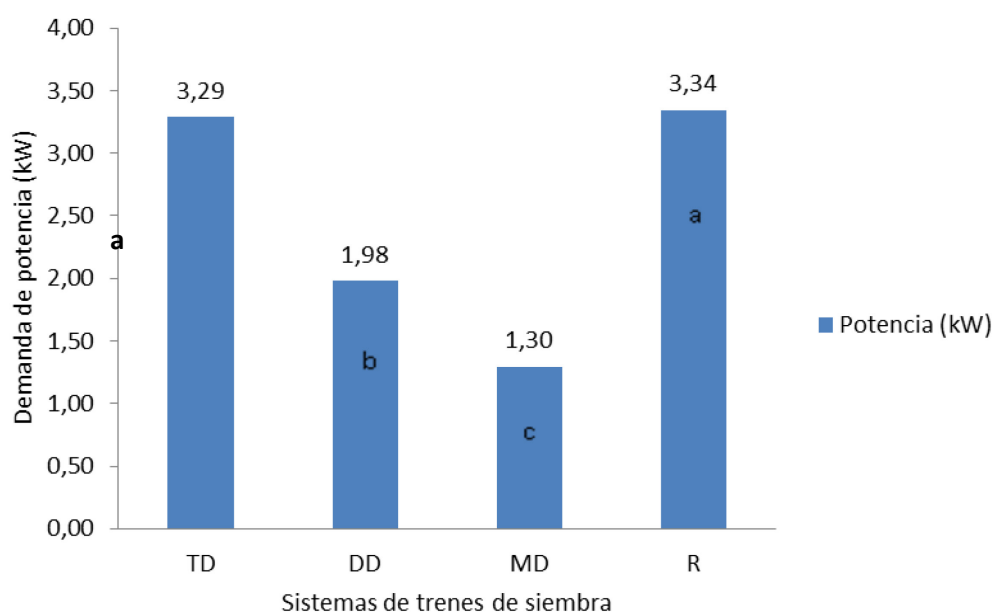


Figura 32: Demanda de potencia (kW) para los distintos trenes de siembra en condición de ensayo. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según el test de Tukey  $p \leq 0,05$ .

La mayor demanda de esfuerzos de tracción del TD no produjo como era esperable una mayor demanda de potencia con respecto a R, debido a que TD fue el tratamiento con menor velocidad real de avance Sin embargo, la potencia no se diferenció entre R y TD siendo esta última un 1,5 % menor, puesto que la diferencia de velocidades entre ambos tratamientos fue de 19,4 % menor. Dichas variaciones en la velocidad de trabajo que afectaron a la demanda de potencia fueron analizadas en el apartado correspondiente, no encontrando una explicación clara a las mismas. La demanda de potencia a la barra de tiro para el abresurco TD fue mayor que la determinada por Desbiolles (2009) quien para este tipo de tren de siembra asume

una demanda de potencia de 2,7 kW (3,5 CV). Esta diferencia puede ser atribuible a variaciones en la profundidades de trabajo (Silveira et al., 2011; Collins & Fowler, 1996). A ello, puede contribuir el hecho que las sembradoras de TD que describe Desbiolles (2009) suelen tener un menor peso por línea de siembra según lo que expone Great Plain (2014), limitando la profundidad de trabajo. En los ensayos a los cuales se hace referencia se obtuvieron demandas de carga máxima (en el plano vertical) que alcanzaron los 600 kg aproximadamente, cuando el promedio de las mismas fue de 384 kg, siendo este dato superior al promedio de peso por línea de siembra que tienen habitualmente las sembradoras de grano fino TD.

Sin embargo, la potencia demandada por el TD tampoco coincide con lo expuesto por Lawson et al. (2011) quienes describen que los sistemas abresurcos de disco requieren menos potencia que los trenes de siembra de reja. Si bien la potencia del TD a comparación de R fue menor, la diferencia es despreciable. Teniendo en cuenta las diferencias de velocidad de trabajo de ambos sistemas de tren de siembra, 19% inferior en el TD que en R, es posible estimar groseramente cuál sería el requerimiento ante iguales condiciones de labor. Si bien existen antecedentes en relación a variaciones en la velocidad de trabajo y profundidad de siembra, es de esperar que si se cuenta con la masa suficiente para garantizar la profundidad de labor, los requerimientos de potencia aumenten y no disminuyan. Sin tomar en cuenta esas posibles variaciones de tracción, la potencia del TD a igual velocidad de desplazamiento resultaría aproximadamente un 22% mayor que en el sistema R.

El tren de siembra R tuvo una demanda de potencia de 3,34 kW (4,54 CV) trabajando a una velocidad de  $2 \text{ m s}^{-1}$  ( $7,2 \text{ km h}^{-1}$ ) mientras que Metzger (2009) para un abresurco similar sin cuchilla labradora, a la misma velocidad, obtuvo una demanda de tiro de 3,52 kW (4,8 CV) de potencia trabajando a 99 mm de profundidad. Si bien las demandas de potencias son comparables, las condiciones difieren ya que en este caso la demanda de potencia fue un 5,7% mayor para una profundidad de trabajo 20 % menor. Pese a ello, no se encuentra una demanda de esfuerzo y potencia menor, lo cual se podría justificar por el hecho que el tren de siembra R ensayado, poseía una cuchilla cortadora labradora, que según lo expuesto por Balbuena et al., (1997) y Balbuena et al., (2009), para conjuntos de cuchilla circular y cinceles, disminuiría la demanda de tiro, al formar un canal por



donde el abresurco se desplaza sin inconvenientes de manera similar a lo explicado por Riley & Fielke (1990), facilitando el movimiento del suelo y reduciendo la elevación (Fielke & O'Driscoll 1986) en el trabajo con rejas aladas de escardillos.

Si bien las demandas de potencia de ambos sistemas de trenes de siembra TD y R son elevadas, las mismas pueden ser parcialmente reducidas si se trabaja a una menor profundidad, en la cuchilla de corte de residuos en el caso del TD y en la profundidad de trabajo de la reja en el R, en función de los resultados obtenidos en las mediciones de esfuerzo de tracción de los componentes principales de cada sistema. Sin embargo, la limitación en la profundidad de trabajo del órgano activo de roturación en profundidad podría afectar tanto la implantación del cultivo por una inadecuada disminución de la compactación superficial del terreno como así también la mayor o menor disponibilidad de humedad para la implantación del cultivo, según sea la profundidad a la que la misma sea la adecuada para el proceso.

El DD tuvo una demanda de potencia de 1,98 kW (2,68 CV) por línea, diferenciándose estadísticamente de los restantes trenes de siembra, lo cual resulta semejante a lo informado por Desbiolles (2009) quien obtuvo una demanda de potencia de 1,96 kW (2,66 CV) en un tren de siembra DD en la barra de tiro. El requerimiento de potencia para el DD, se encuentra dentro de los rangos citados generalmente a nivel comercial o cercano al mismo. Pese a ello, por ejemplo, Salford (2013) recomienda para sus máquinas sembradoras con tren de siembra DD una potencia a la barra de tiro de 2,06 a 3,01 kW (2,8 a 4,1HP) por línea de siembra. Esta mayor demanda de potencia puede ser dada por diferencias en la velocidad de trabajo debido a que esta suele rondar los  $3,05 \text{ m s}^{-1}$  ( $11 \text{ km h}^{-1}$ ). Massey Ferguson<sup>®</sup> indica para su sembradora de grano fino de la serie 300, con un tren de siembra DD, un requerimiento de potencia mínimo de 2,31 kW (3,15 CV) por línea de siembra a la barra de tiro, con un peso por línea que oscila entre 1,79 y 1,9 kN según el modelo. Para ese peso por línea, la demanda de potencia promedio fue de 1,62 kW (2,2 CV) con un mínimo y un máximo de 0,4 kW y 2,77 kW (0,55 CV y 3,77 CV) respectivamente, como se puede observar en la figura 33. Esta menor potencia recomendada por Massey Ferguson<sup>®</sup> para la serie 300, en comparación al valor máximo de demanda de tiro puede ser debido a que no todo el peso de la máquina sembradora se puede transferir a los trenes de siembra, dejando un remanente para

el correspondiente apoyo de los neumáticos que accionan el tren cinemático de la misma, con la consiguiente disminución de carga y potencia. No obstante ello, cabe destacar, tal como fuera analizado en los apartados de carga vertical y esfuerzo de tracción, la gran variabilidad de la potencia que caracteriza el trabajo individual de cada tren de siembra.

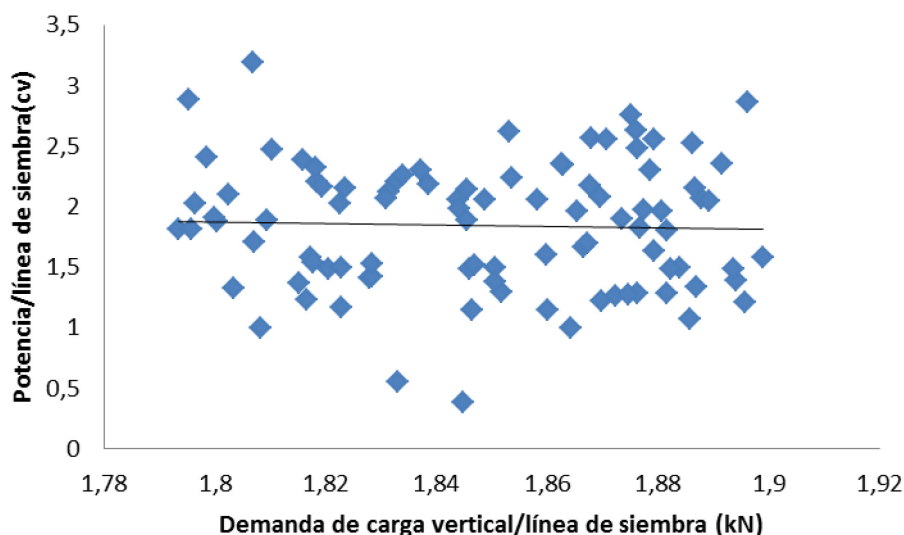


Figura 31: Demanda de potencia (kW) por línea de siembra, para el tratamiento DD en función de la carga vertical, en el rango de 1,79 a 1,9 kN.

El monodisco tuvo una demanda de tiro de 1,30 kW (1,76 CV), 0,735 kW (1CV) menor a lo descrito por Desbiolles (2009) ya que para un monodisco de similares características de 0,43 m (17”) de diámetro, sin ángulo vertical, la misma fue de 2,03 kW (2,76 CV). Estas diferencias pueden ser dadas por la velocidad de trabajo y por la carga adicional que se genera por el movimiento de las restantes piezas de la sembradora.

La menor demanda de potencia del DD y MD puede ser influenciada por la profundidad que trabajan los distintos órganos, ya que mientras la profundidad del TD fue de 80 mm, dada por la cuchilla labradora y la de la R fue de 120 mm dada por la reja, el DD y MD rondaron los 55 mm de profundidad. Con ello coinciden los resultados obtenidos por Mordernel da Silveira et al. (2011) y Collins & Fowler (1996) quienes mencionan, como es de suponer, a la profundidad de trabajo como un factor clave de la demanda de potencia.

Además, la demanda de potencia es un factor determinante en el dimensionamiento del equipo de siembra, conjunto tractor implemento, siendo los rangos claramente variables, atendiendo a las características operativas habituales de velocidad y profundidad para cada tipo de tren de siembra. Asimismo, las recomendaciones deben cubrir situaciones particulares de suelos, diferentes condiciones físicas y texturas, a las que los productores y especialmente los contratistas deben adecuarse. Al respecto, tal como explicaran Oskoui et al., (1982) tanto la prestación del tractor como la del implemento están fuertemente relacionadas a las mismas.

La mayor demanda de potencia por ciertos trenes de siembra y la separación de los mismos, proporciona la demanda de potencia por metro de ancho de trabajo, afectando el consumo energético para dicho laboreo. Si bien en la República Argentina existe una fuerte tendencia en el uso de abresurcos de discos en general (Pochat & Pozzolo 2000) el más difundido es el triple disco, que justamente es el que mayor demanda de potencia requiere. Esta mayor difusión del sistema de triple disco puede deberse a su habilidad de corte de residuos de cosecha y microlabranza por un único órgano activo por delante del órgano abresurco. Asimismo, la recomendación de mayor profundidad de trabajo de la cuchilla de corte y remoción pareciera la principal causa de los mayores esfuerzos de tracción que determinan los altos requerimientos de potencia si se atiende a la misma.

En función de ambos aspectos, es determinante la adecuada selección del sistema de tren de siembra en función de las necesidades de corte de residuos y requerimientos de roturación de cada zona en particular, para la disminución de la energía y la potencia requerida para la implantación de los cultivos. Por lo tanto, en zonas donde el volumen de rastrojo es escaso y/o el cultivo que se siembra no presenta mayores diferencias en la implantación con los demás trenes de siembra, es posible que trenes de siembra como los MD y DD, con menor difusión en los últimos 10 años para siembra de cultivos en la zona núcleo central del país, puedan resultar los más indicados para realizar esta labor, debido a los menores gastos energéticos, con la consiguiente disminución de los costos de siembra y una menor contaminación ambiental.

Los fabricantes argentinos de sembradoras recomiendan en su material de difusión requerimientos de potencia en el motor para sus distintas versiones de máquinas

sembradoras, que se ubican en el rango de 3,31 a 4,64 kW (4,5 a 6 CV) por línea de siembra, para los cultivos de granos finos, mientras que para la siembra de precisión, asociada habitualmente a la siembra de granos gruesos, las recomendaciones alcanzan los 6,61 a 7,35 kW (9 a 10 CV)/ línea de cultivo. Dichas diferencias no son explicadas, pero pueden relacionarse a la mayor profundidad de siembra de estos últimos, como también a la recomendación de trabajar con la cuchilla circular por debajo de la profundidad de siembra (Bragachini, 1998; Bragachini et al., 2001). Dichas recomendaciones son de carácter general, sin tener en cuenta aspectos del diseño de los tractores ni variaciones en las características menores de conformación del tren de siembra. Si se toma en cuenta la conformación básica de las máquinas sembradoras en base a las especificaciones técnicas de las mismas, mayoritariamente están efectuadas para trenes de siembra de triple disco, con cuchillas onduladas tangenciales (turbo, directa o similares) de 17" de diámetro. Asimismo, también seguramente se tenga en cuenta que la mayoría de los tractores utilizados en la actualidad son de diseño doble tracción (FWA y 4WD). En la tabla 8 se colocan las potencias requeridas en el motor, para cada uno de los trenes de siembra bajo estudio. Para ello se asume un rendimiento de tracción global ( $\eta_{TG}$ ) igual a 0,7, intermedio para los diseños de doble tracción mencionados. Para el cálculo de la potencia en la barra a partir de los datos del fabricante y de la potencia en el motor para los datos del ensayo se utilizó una velocidad de avance de  $2 \text{ m s}^{-1}$ , recomendada para la siembra, de forma tal de poder compatibilizar los datos de ambas fuentes.

Tabla 8: Cálculos de requerimientos de potencia/ línea de trabajo. Valores en negro: datos medidos y calculados durante el ensayo. Valores en rojo estimaciones a partir de una velocidad común de  $2 \text{ m s}^{-1}$  a partir de informes de fabricante y datos medidos en el ensayo.  $\{ \text{kW} = T(\text{kg}) \times V (\text{m s}^{-1}) / 9,8 \cdot 10^{-3} \}$

	T	V $\text{m s}^{-1}$	Nb kW (CV)	Nm kW (CV)
Fabricantes	123,75	2	2,43 (3,3)	3,31 (4,5)
	166.12	2	3,26 (4,43)	4,41 (6)
<hr/>				
TD	208	1,61	3,29 (4,47)	4,69 (6,38)
		2	4,07 (5,54)	5,82 (7,91)
R	169,7	2	3,34 (4,54)	4,76 (6,48)
		2	3,34 (4,54)	4,76 (6,48)
DD	103,3	1,94	1,98 (2,69)	2,82 (3,84)
		2	2,01 (2,74)	2,88 (3,92)
MD	70,2	1,88	1,29 (1,76)	1,85 (2,51)
		2	1,37 (1,87)	1,96 (2,67)

Surge claramente que los requerimientos de potencia en el motor recomendados por los fabricantes son menores a los valores de potencia en el motor estimados a partir de la potencia en la barra para el caso de los trenes de siembra de triple disco. Por otra parte, son mayores a los de doble disco y monodisco. Curiosamente, en algunos casos las fábricas ofrecen la alternativa de triple disco o monodisco para una misma estructura, no diferencian requerimientos de potencia entre uno y otro sistema. Por otra parte, al no existir oferta en el mercado nacional de sistemas de tren de siembra similares al R, no se pueden establecer relaciones con recomendaciones efectuadas por fábricas de sembradoras. Es importante volver a remarcar, que los valores de esfuerzos que se comparan a partir de los datos del ensayo con los de la fábrica, no incluyen las demandas de potencia vinculadas a los esfuerzos que genera el arrastre de la máquina y el movimiento del tren cinemático, lo cual aumentaría las diferencias en el caso del triple disco y acercaría los valores al rango recomendado para los sistema M y DD.

### ***Variabilidad de los esfuerzos de tracción y de las cargas verticales***

Los datos relevados muestran que las fuerzas que demanda un tren de siembra no son constantes, presentando una gran variabilidad en cada órgano activo, como así también entre distintos componentes de un mismo tren. Dichas variaciones de fuerzas, pueden ser causadas porque el suelo tal como mencionan Franco & Arrúa (2007) presenta características heterogéneas, es en general no elástico, tiene un comportamiento no lineal y puede además ser anisotrópico. A ello se suman las complejas interacciones de los implementos de labranza con el suelo.

Esta variación, en el estado mecánico del suelo, afecta tanto la demanda de tiro como la carga vertical que demanda un tren de siembra para poder mantener una profundidad de trabajo constante, generando demandas máximas y mínimas. Estas variaciones permiten calcular entre otros aspectos los esfuerzos medios y máximos que tiene que soportar el chasis de la máquina sembradora, como las características de los resortes que deben actuar en relación a los mismos.

El TD tuvo una demanda de tiro máximo de 3,7 kN (377,7 kg) (Tabla 9) mientras que la mínima fue de 0,7 kN (71,1 kg), para un esfuerzo medio de 2,04 kN teniendo un coeficiente de variación (cv) de 24,5 %, mientras que el cv de la cuchilla y el cv del abresurco fueron mayores. Por otra parte, resulta visible también que la demanda máxima del tren de siembra no es la resultante de la sumatoria de la demanda máxima de los dos órganos (Tabla 9), lo cual indica que las mismas no se producen al mismo tiempo. Ello resulta lógico, puesto que la cuchilla de corte y roturación y el resto del tren de siembra (abresurcos más los elementos de contactado de semilla y cierre del surco) se encuentran en distintos planos de acción en el carro dinamométrico. En las máquinas sembradoras para grano fino, también ocurre algo similar, siendo la distancia entre ambos elementos y sistemas variables en función del diseño de cada máquina y de la ubicación del abresurco constitutivo del tren de siembra en el plano anterior o posterior de trabajo de la máquina. En consecuencia, tal como se puede observar en la figura 34 la demanda de esfuerzos no varía de la misma forma en ambos órganos. Es notable que los dos presentan una gran variación tanto en los esfuerzos de tracción como en las demanda de cargas verticales. Sin embargo, el cv disminuye para la demanda de esfuerzo y de

carga vertical cuando se compara el tren de siembra entero con los órganos constitutivos del mismo del mismo. Es posible hipotetizar que las frecuencias de esfuerzos y cargas máximos y mínimos varíen para la cuchilla y el abresurco ya que el estado mecánico del suelo que trabajan unos y otros son diferentes. Por lo tanto, los distintos procesos tienden a atenuar la variabilidad del conjunto, pero a aumentar los valores máximos y también aumentar los registros mínimos.

Tabla 9: Demanda de esfuerzos de tracción y de carga vertical (kN) para el tren de siembra TD para la cuchilla, el abresurco y el conjunto.

	<b>Cuchilla</b>	<b>Abresurco</b>	<b>Tren de siembra</b>	<b>Cuchilla</b>	<b>Abresurco</b>	<b>Tren de siembra</b>
	<b>Esfuerzos de tracción (kN).</b>			<b>Carga vertical (kN).</b>		
<b>Promedio</b>	<b>1,41</b>	<b>0,63</b>	<b>2,04</b>	<b>2,18</b>	<b>1,59</b>	<b>3,77</b>
<b>Min.</b>	<b>0,28</b>	<b>0</b>	<b>0,70</b>	<b>0,33</b>	<b>0,98</b>	<b>1,89</b>
<b>Max.</b>	<b>2,88</b>	<b>1,52</b>	<b>3,70</b>	<b>4,15</b>	<b>2,80</b>	<b>5,89</b>
<b>Desvío</b>	<b>0,44</b>	<b>0,24</b>	<b>0,50</b>	<b>0,62</b>	<b>0,36</b>	<b>0,65</b>
<b>cv.</b>	<b>31,5</b>	<b>38,8</b>	<b>24,5</b>	<b>28,7</b>	<b>20,1</b>	<b>17,4</b>

De todas formas, independientemente de las características de la variabilidad de los datos de la cuchilla y el abresurco surge que existe una fuerte correlación entre los datos de esfuerzo de tracción y carga vertical para ambos componentes (Figura 34). En el caso de la cuchilla de corte y remoción se alcanzó un  $R^2$  de 0,61 mientras que en el caso del abresurco el  $R^2$  fue de 0,52, (Figura 35).

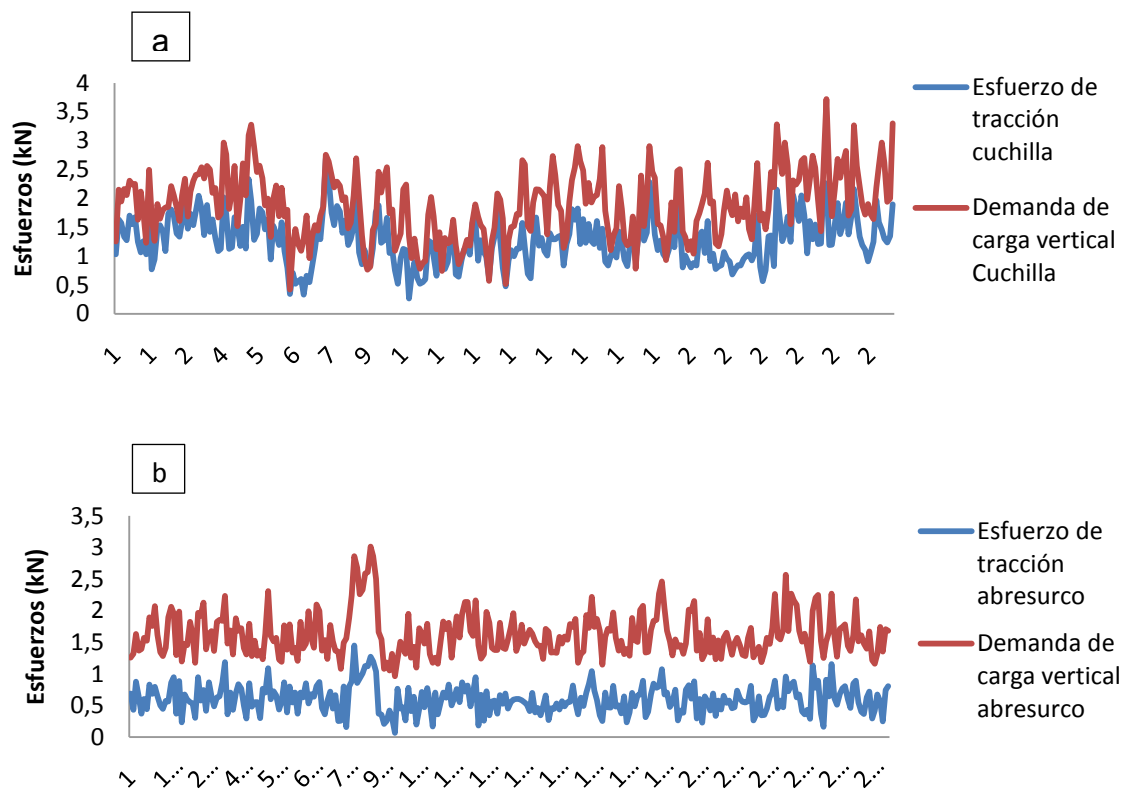


Figura 32: (a) Demanda de carga y de esfuerzos de tracción (kN) para la cuchilla labradora del TD en una sección de muestreo. (b) Demanda de carga y de esfuerzo de tracción (kN) para el abresurco del TD en una sección de muestreo.

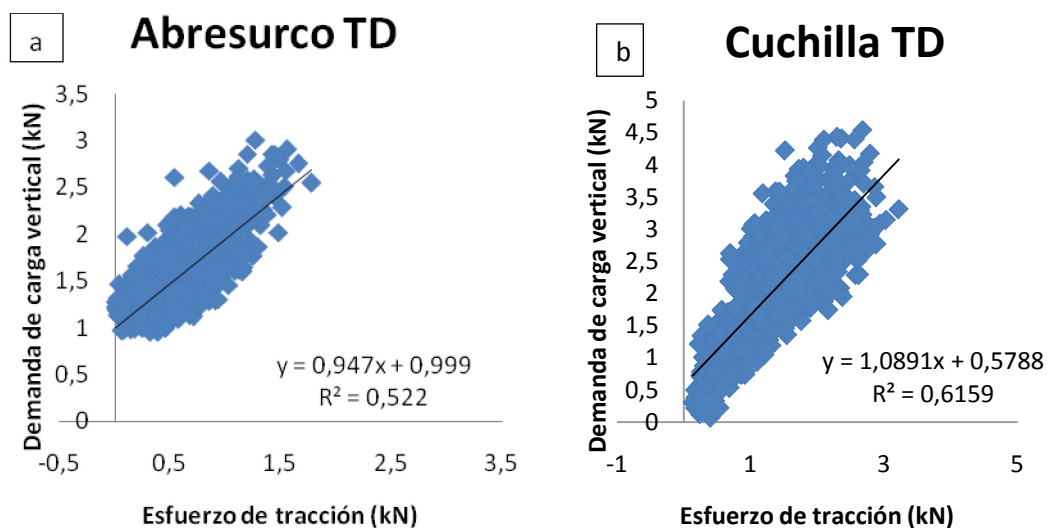


Figura 33: (a) Relación entre la demanda de carga y de esfuerzo de tracción (kN) para el abresurco del TD en el muestreo. (b) Relación entre la demanda de carga y de esfuerzos de tracción (kN) para la cuchilla labradora del TD en el muestreo.



El R tuvo mayor coeficiente de variación respecto al TD (Tabla 10). Entre los componentes, la cuchilla labradora también tuvo un mayor cv. con respecto a la cuchilla del TD. Esto puede relacionarse con las variaciones de la densidad aparente y la humedad, que fueron mayores en el muestreo de 0-50 mm, estrato en el que la cuchilla de R trabajó; la cuchilla de TD en cambio, trabajó a 80 mm sobre una zona más homogénea en humedad y densidad aparente.

La máxima demanda de tiro de la cuchilla fue un 166% mayor que el promedio, mientras que la cuchilla del TD fue de 105 %. Al igual que en el TD el tren de siembra tuvo un cv. menor que cada componente por separado (Figura 36).

Si comparamos el cv. de TD y R, el último fue mayor tanto en carga vertical como en demanda de esfuerzo, estas son características típicas de las herramientas tipo reja. Esta tendencia se ve más afectada por la baja capacidad que tienen los trenes de siembra de discos para penetrar, resultando en variación en la profundidad de trabajo (Chaudhry, 2001).

Tabla 10: Demanda esfuerzo de tracción y de carga vertical (kN) para el tren de siembra R para la cuchilla, el abresurco y el conjunto.

	Cuchilla	Abresurco	Tren de siembra	Cuchilla	Abresurco	Tren de siembra
	Esfuerzo de tracción (kN).			Carga Vertical (kN).		
<b>Promedio</b>	<b>0,58</b>	<b>1,08</b>	<b>1,66</b>	<b>0,80</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,77</b>
<b>Min.</b>	<b>-0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,29</b>
<b>Max.</b>	<b>1,66</b>	<b>2,88</b>	<b>3,94</b>	<b>2,11</b>	<b>0,40</b>	<b>1,48</b>
<b>Desvío</b>	<b>0,26</b>	<b>0,46</b>	<b>0,58</b>	<b>0,31</b>	<b>0,14</b>	<b>0,33</b>
<b>cv.</b>	<b>45,6</b>	<b>42,8</b>	<b>35,1</b>	<b>38,9</b>	<b>488,6</b>	<b>43,2</b>

La demanda de carga vertical del abresurco de R fue el que menor desvío tuvo. Esto se ve influenciado por el ángulo de la reja, produciendo fuerzas que asisten a la penetración, reduciendo la dependencia del peso de la estructura de la máquina sembradora, en el plano vertical para que se mantenga constante la profundidad de trabajo. Sin embargo fue el que mayor cv. debido a que la media de la demanda de carga es muy baja.

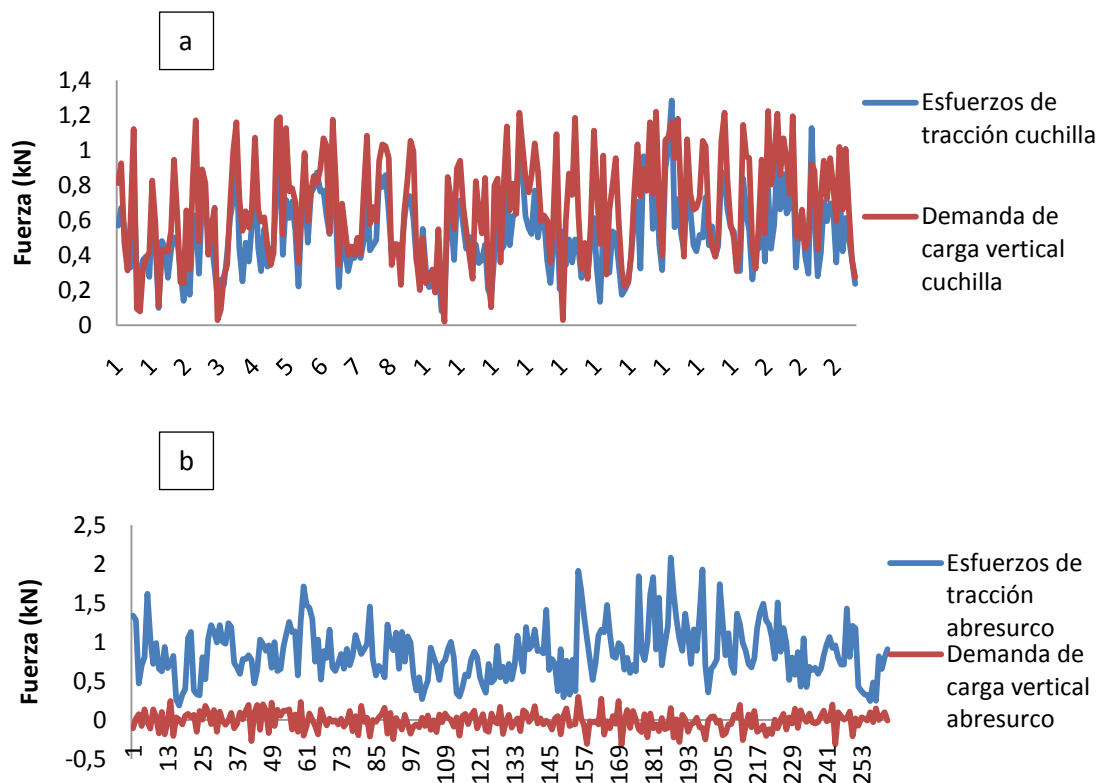


Figura 34: (a) Demanda de carga y de esfuerzos de tracción (kN) para la cuchilla labradora de R en una sección de muestreo. (b) Demanda de carga y de esfuerzo de tracción para el abresurco de R en una sección de muestreo.

Cuando se analiza el grado de correlación entre los valores de tracción y cargas verticales de cada componente, se encontró una alta correlación para la cuchilla circular ( $R^2=0,624$ ) y muy baja correlación entre ambos parámetros para el abresurco se observa en la figura 37 con un  $R^2$  de 0,0088, lo cual se explica por la escasa demanda de carga para la penetración como también que los incrementos de esfuerzo de tracción producen también un incremento en la penetración del equipo por el aumento en la componente vertical con sentido descendente que asiste a la penetración, estableciendo una secuencia de acción y reacción entre tracción y carga para la penetración en alguna medida opuesta a la que se generan con los discos o cuchillas.

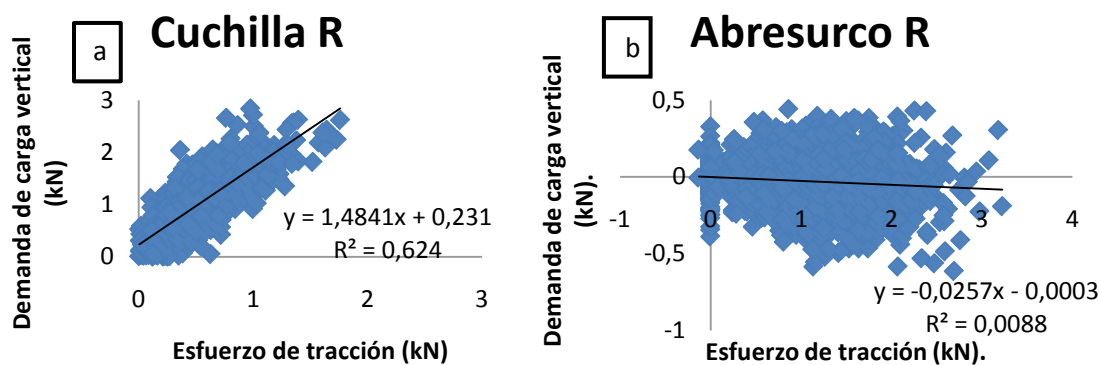


Figura 35 a: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), la cuchilla labradora del tren de siembra R; b: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), para el abresurco del tren de siembra R.

En cuanto al tratamiento MD, el mismo presenta el menor cv. en la demanda de carga (Tabla 11). Este menor cv. se debe seguramente a que presenta un pequeño ángulo del disco con la vertical y con el avance, que produce una mayor capacidad de penetración, como consecuencia también de la generación de una componente también descendente que ayuda a la penetración, a medida que aumenta la demanda de tracción disminuye la demanda de carga vertical, si bien la correlación es muy baja ( $R^2:0,0532$ ) existe una tendencia (Figura 38).

Tabla 11: Demanda de esfuerzo de tracción y de carga vertical (kN) para el tren de siembra MD.

	MD	
	Esfuerzo de tracción (kN).	Carga vertical (kN).
<b>Promedio</b>	<b>0,69</b>	<b>1,98</b>
<b>Min.</b>	<b>0,09</b>	<b>1,93</b>
<b>Max.</b>	<b>1,4</b>	<b>2,76</b>
<b>Desvío</b>	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>
<b>cv.</b>	<b>29,9</b>	<b>11,8</b>

## Tren de siembra MD

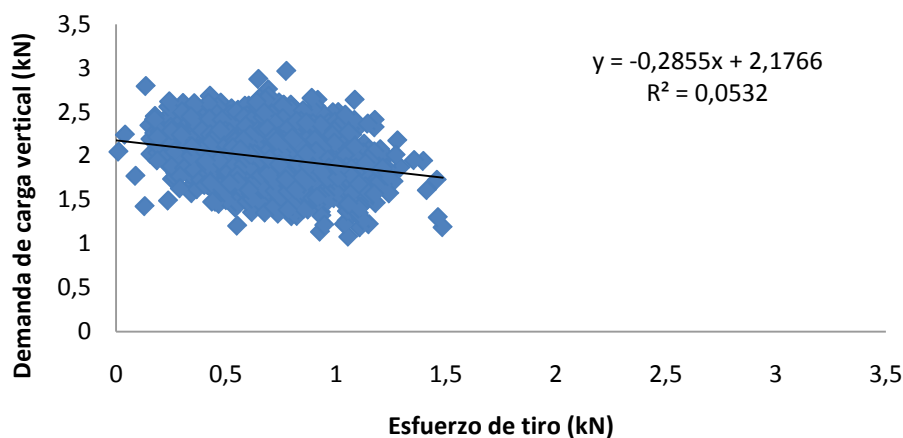


Figura 368: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), del tren de siembra MD.

Además de presentar la menor demanda de esfuerzos entre los trenes de siembra bajo estudio, se observó una variación entre el valor máximo registrado y el promedio de un 103 % (Figura 39), mientras que el conjunto del TD tuvo una variación de 81 %. Esta menor variación puede estar dada por presentar mayor cantidad de órganos activos, que interactúan entre sí. En cuanto a las cargas verticales, el abresurco MD tuvo la menor variación de los trenes de siembra, siendo el valor máximo alcanzado un 39,3% mayor al del promedio de requerimientos en el plano vertical.

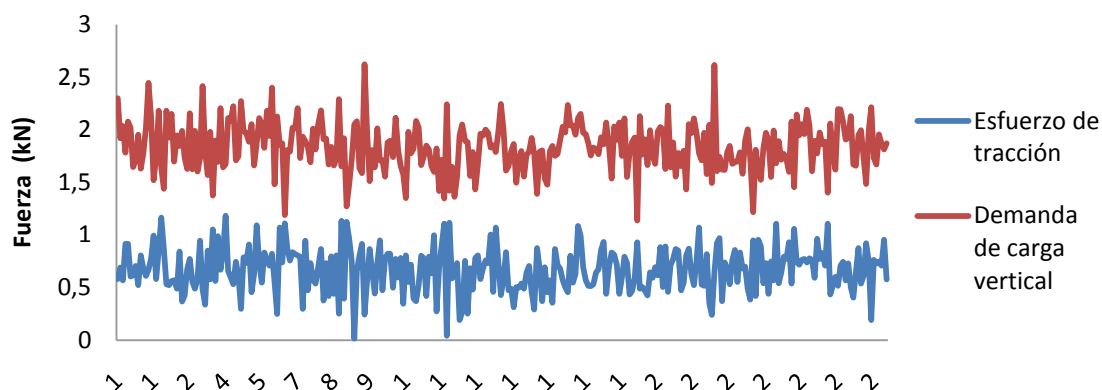


Figura 39: Demanda de carga vertical y de esfuerzos de tracción (kN) para el tren de siembra MD en una sección de muestreo.

EL DD tuvo un cv. en los esfuerzos de tracción similar al R mientras que el resto de los trenes de siembra de disco presentó una menor variación en los esfuerzos de tracción (Tabla 12). En relación a la demanda de carga vertical, los valores máximos alcanzaron 3,77 kN para poder penetrar, ubicándose en una situación intermedia entre la demanda de carga vertical del TD (5,89 kN) y la de MD (2,76 kN). Sin embargo, tomando al conjunto abresurco de DD como un único elemento, los valores mencionados fueron los mayores registrados.

Tabla 12: Esfuerzos de tracción y de carga vertical (kN) para el tren de siembra DD.

DD		
	Esfuerzos de tracción (kN).	Carga Vertical (kN).
<b>Promedio</b>	<b>1,01</b>	<b>2,58</b>
<b>Min.</b>	<b>0,19</b>	<b>1</b>
<b>Max.</b>	<b>2,37</b>	<b>3,77</b>
<b>Desvío</b>	<b>0,34</b>	<b>0,64</b>
<b>cv.</b>	<b>33,6</b>	<b>24,7</b>

La variación de los esfuerzos de tracción (Figura 40) mostró un comportamiento semejante a los restantes trenes de siembra, acentuando lo dicho por Franco & Arrúa (2007) en cuanto a la incidencia de la variación del estado mecánico del suelo sobre las demandas registradas, ya que este tratamiento también se desempeñó en el estrato de mayor variabilidad de densidad aparente y humedad del suelo.

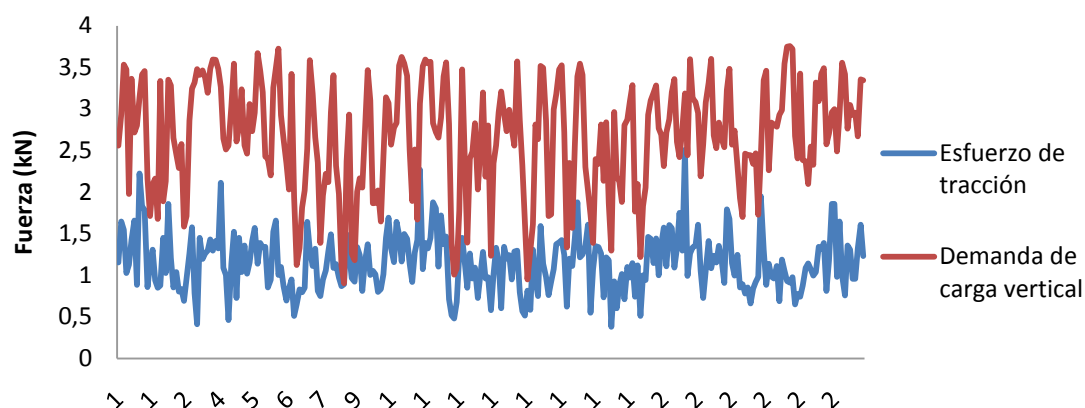


Figura 370: Demanda de carga vertical y de esfuerzos de tracción para el tren de siembra DD en una sección de muestreo.

Al igual que abresurco del TD, el DD presenta una correlación similar entre la demanda de tracción y la demanda de carga vertical (Figura 41), sin embargo el DD presenta una mayor pendiente en la correlación debido a presentar un suelo sin labrar ya que no presenta cuchilla labradora por adelante del abresurco, generando un mayor requerimiento de carga vertical para poder penetrar.

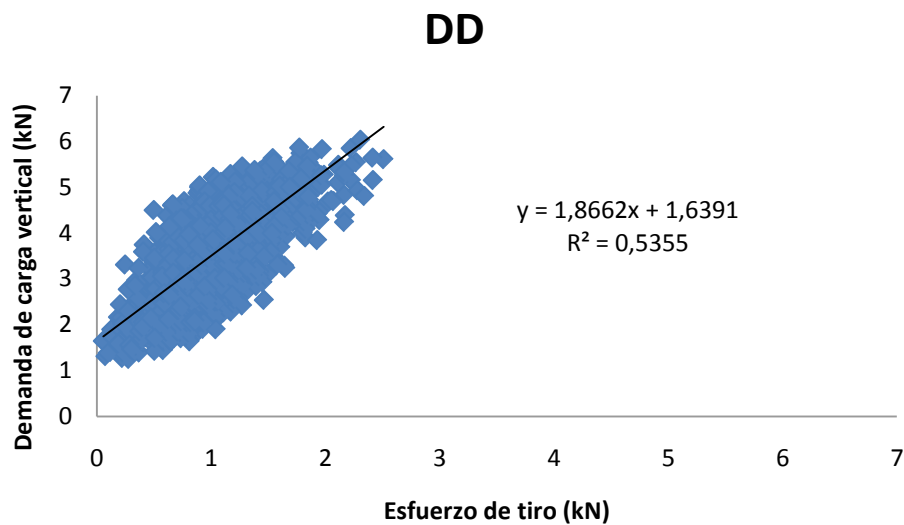


Figura 38: Relación entre carga vertical y esfuerzo de tracción (kN), del tren de siembra DD.

Si bien el tiro de una sembradora suele tener menor variación en la demanda de esfuerzo de tracción debido a que son varios trenes de siembra y compensan fuerzas ya que no todos los trenes de siembra generan la máxima carga en el mismo instante. Nos sirve para calcular los esfuerzos que tiene que soportar el chasis, facilitando el diseño del mismo, y el buen aprovechamiento de los materiales.

## Conclusiones

El tren de siembra de Reja alcanza similar eficiencia de implantación que los de discos con una mayor velocidad de emergencia

El tren de siembra Triple Disco presenta una mayor homogeneidad en la profundidad de siembra, en condiciones no limitantes de residuos a nivel superficial para el trabajo de los mecanismos de control de la profundidad.

El tren de siembra Reja ubica la semilla a una mayor profundidad del perfil lo cual permite acceder a zonas con mayor humedad que los trenes con discos, pero la mayor roturación del suelo produce una mayor reducción de la humedad del suelo superficial.

El tren de siembra de Reja requiere menos masa para la penetración del conjunto que el resto de los sistemas evaluados, alcanzando el diseño de reja utilizado succión, lo cual permitiría la reducción del peso de las sembradoras utilizadas para la implantación de cultivos en la región semiárida del sudoeste bonaerense

El sistema de tren de siembra de Triple disco es el más ineficiente tanto en lo referente a los requerimientos tractivos como de masa necesaria para la penetración

El sistema de tren de siembra Monodisco, entre los que utilizan únicamente discos como elementos activos, es el más eficiente en relación con la demanda de esfuerzo de tracción y requerimientos de carga para la penetración, por lo cual constituye una alternativa simple y de bajo costo para la implantación de cultivos de invierno en el sudoeste bonaerense

La fuerza requerida para la penetración de los equipos de discos supera a los esfuerzos de tracción del conjunto de tren de siembra.

Los mayores esfuerzos de tracción de los elementos constitutivos de trenes de siembra con órganos múltiples, se corresponden con los componentes que son los responsables de la roturación del suelo, la cuchilla de corte de residuos y roturación en el Triple disco y la reja en el de cuchilla y Reja.

El Carro dinamométrico desarrollado es un equipamiento apto para la evaluación energética de distintos trenes de siembra y de las relaciones entre diferentes combinaciones y configuraciones de sus elementos de trabajo.



## **Bibliografía:**

- Aapresid**, 2012. Evolución de la superficie en Siembra Directa en Argentina. Campañas 1977/78 a 2010/11. Disponible en: [http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2013/02/aapresid.evolucion\\_superficie\\_sd\\_argentina.1977\\_a\\_2011.pdf](http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2013/02/aapresid.evolucion_superficie_sd_argentina.1977_a_2011.pdf) Último acceso: Septiembre del 2013
- Aimar, S.B., D.E. Buschizzo & N. Peinemann**. 2003. Cuantificaciones de la erosión eólica en la región semiárida pampeana central argentina. En: Viento, Suelo y Plantas. Editores: Alberto Danil Gonberg, Alicia Graciela Kin. Ed.: E.E.A. Anguil "ing. Agr. Guillermo COVAS", Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa. pp 35-42.
- Allen, R.R. & C.R. Fenster**. 1986. Stubble-mulch equipment for soil and water conservation in the Great Plains. J. Soil and Water Conservation 41(1) : 11-16.
- Allen, R. R**. 1988. Performance of three wheat seeders in conservation tillage residue. Applied Engineering In Agriculture vol 4 N° 3 pp 191-196.
- Andrade, M.L., P. Laporta & L. Lezzi**. 2009. Sequías en el sudoeste bonaerense: Vulnerabilidad e incertidumbre. Geograficando 5(5) pp: 213-233. Disponible en: [http://fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.4450/.pdf](http://fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4450/.pdf). Último acceso: octubre del 2013.
- Arbex Silva, P.R**. 2007. Semeadora-adubadora: Mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas. Tese de Doutor, apresentada à Faculdade de Ciencias Agrônômicas de UNESP. Boutucatu-SP, Fevereiro-2007. 93 pp.
- Arvidsson J., T. Keller & K. Gustafsson**. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disk harrow at different water contents. Soil & Tillage Research 79 pp: 221-231.
- ASAE**. 1993. ASAE standard. S 313.2. Soil cone penetrometer. In: American Society of Agricultural Engineers. pp: 611.
- Ashburner, J.E. & B.G**. 1984 Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Serie de libros y materiales educativos N° 56. 473 pp. Disponible en: <http://agris.fao.org/?query=%2Bauthor:%22Ashburner,%20J.%20E.%22> Último acceso: septiembre del 2013.

- Ashrafi Zadeh, S. R.** 2006. Modelling of energy Requirements by a narrow tillage tool. Thesis doctoral of Philosophy in the Department of Agricultural and Bioresource Engineering University of Saskatchewan Saskatoon. 172 pp.
- Bai X. & Z. Zhang.** 2011. Experimental Study on Stubble-cutting Coulters of Corn No-tillage Seeder. International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE). IEEE Publisher. ISBN 978-1-4577-1700-0 December 16-18 (2011), Changchun, China. pp: 2004:2007
- Baker C.J., K.E. Saxton, W.R. Ritchie, W.C.T. Chamen, D.C. Reicosky, M.F.S. Ribeiro, S.E. Justice & P.R. Hobbs.** 2007 Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. C. J. Baker y K. E. Saxton. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Ed. Acribia S.A., Zaragoza, España. 391 pp.
- Balbuena R.H., A.M. Terminiello, J.A. Claverie, P.M. Mac Donagh & R Bartosik.** 1997. Incidencia de la colocación de cuchillas circulares sobre patrones de roturación y energía en escarificadores de arcos rígidos. Revista de la Facultad de Agronomía La Plata 102(1): 51-57.
- Balbuena, R.H., G.F. Botta & E.R.D. Rivero.** 2009. Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. Orientación Gráfica Editorial, Buenos Aires. 216 pp.
- Bragachini, M.** 1998. Sembradoras. Cuadernillo Agromercados: Sembradoras, Tractores, Fertilizadoras, N° XXII. pp. 7-17.
- Bragachini, M. A. Méndez & A. Von Martini.** 2001. Sembradoras de Grano Fino/Soja/Pasturas. En: Eslabonamiento Productivo del Sector Maquinaria Agrícola Argentina", Consejo Federal de Inversiones. 26 pp.
- Bragachini M., A. Méndez, F. Scaramuzza, J. Vélez & D. Villarroel.** 2012. Impacto de la velocidad y la profundidad de siembra sobre uniformidad en la emergencia y distribución de plantas en maíz. Disponible en: [http://inta.gob.ar/documentos/impacto-de-la-velocidad-y-la-profundidad-de-siembra-sobre-uniformidad-en-la-emergencia-y-distribucion-de-plantas-en-maiz/at\\_multi\\_download/file/INTA-pdf](http://inta.gob.ar/documentos/impacto-de-la-velocidad-y-la-profundidad-de-siembra-sobre-uniformidad-en-la-emergencia-y-distribucion-de-plantas-en-maiz/at_multi_download/file/INTA-pdf). Último acceso: octubre del 2013.
- Bragachini M., J. Peiretti, A. Méndez & F. Scaramuzza.** 2005. Eficiencia de implantación del cultivo de soja. Mercado de sembradoras y tendencias. En

- Soja. Eficiencia de cosecha y postcosecha. INTA - PRECOP. Manual Técnico N° 3. Ed. M. Bragachini y C. Casini. Arte Gráfica editorial. Oncativo, Córdoba, Argentina. 291 pp.
- Campo, A.M., C. Bagnulo & R. Pacheco.** 2012. Cambios en el régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el partido de Puán. Nadir: Revista electronica Geografía austral. Año 4, n° 1 enero-julio 2012 Disponible en: [http://revistanadir.yolasite.com/resources/ Cambios en el régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el partido de Puán.pdf](http://revistanadir.yolasite.com/resources/Cambios%20en%20el%20régimen%20pluviométrico%20y%20sus%20efectos%20sobre%20la%20producción%20agropecuaria%20en%20el%20partido%20de%20Puán.pdf). Último acceso: octubre del 2013.
- Casagrande, G.A., G.T. Vergara, J.P. Arnaiz, J.A. Forte Lay & F. García.** 2008. Cálculo del índice de riesgo agroclimático para cultivos de la región occidental agropecuaria pampeana. XII Reunión Argentina de Agrometeorología, 8 a 10 de octubre de 2008. San Salvador de Jujuy - Argentina. pp: 245:246. En: [http://agro.unc.edu.ar/clima/AADA/ Congresos/ Jujuy/08\\_adversidades/Casagrande.pdf](http://agro.unc.edu.ar/clima/AADA/Congresos/Jujuy/08_adversidades/Casagrande.pdf). Última visita: febrero de 2015
- Chancellor, W.J.** 1988. Cutting of biological materials. In CRC Handbook of Engineering in Agriculture, vol. I: Crop Production Engineering, R.H. Brown, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp: 35-63.
- Chaudhry A D. & C.K. Baker.** 1988. Barley seeding establishment by direct drilling in a wet soil 1. Effects of openers under simulated rainfall and high water-table conditions. Soil & Tillage Research 11 (1): 43-61.
- Chaudhury, D.** 2001. Performance Evaluation of Various Types of Furrow Openers on Seed Drills- a Review. J. Agric. Engng Res 2001, 79 (2): 125-137
- Choi, C.H. & D.C. Erbach.** 1986. Cornstalk residue shearing by rolling coulters. Transactions of the ASAE 29 (6): 1530-1535.
- Choudhary, M.A. & C.J. Baker.** 1980. Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils; Wheat seedling emergence under controlled climates. Journal of Agricultural Engng. Research 23: 489-496
- Choudhary, M.A. & C. J. Baker.** 1982 Effects of drill coulter design and soil moisture status on emergence of wheat seedlings. Soil Tillage Res. (2) pp 131\_142.

- Choudhary, M.A., G.P. Yu & C.J. Baker.** 1985 Seed placement effects on seedling establishment in direct-drilled fields. Soil and Tillage Research Volume 6, Issue 1, , p: 79–93
- Christiani, M., J. Ressia, G. Mendivil, L. Lázaro, C. de Pablo, M. Agostini & R. Balbuena.** 2000. Implantación de trigo en función de la utilización de cuchillas de corte y remoción sobre un abresurco de tipo monodisco con zapata. CADIR 2000. Edición en CD. 6 pp.
- Cocharan, B.J., J.G. Porterfield & D.G. Batchelder.** 1974. Vertical force on furrow openers and depth control devices. Transactions of the ASAE 17 (3): 443–446.
- Collins B.A. & D.B. Fowler.** 1996. Effect of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. Soil & Tillage Research 39: 199-211.
- Darmora D.P. & K.P. Pandeyb.** 1995 Evaluation of performance of furrow openers of combined seed and fertilizer drills. Soil & Tillage Research 34: 127-139
- Desbiolles, J.** 2008. No-Till Seeding Systems – Technologies & Performance Issues. Presentation at ACIAR - ICARDA Iraq project: planning meeting 7-11 Sept 2008. University of South Australia, Mawson Lakes Campus, South Australia, Australia.
- Desbiolles, J.** 2009 Disc popularity raises need for buyer homework. Disponibles en: <http://grdc.com.au/Media-Centre/Ground-Cover/Ground-Cover-Issue-79-March-April-2009/Disc-popularity-raises-need-for-buyer-homework>. Último acceso: Octubre del 2014
- Díaz-Zorita M., G. Duarte & M.V. Fernández Canigia.** 2000. La siembra directa y los sistemas mixtos de producción en el oeste de Buenos Aires. EEA INTA General Villegas, Publicación técnica 31, 18 pp.
- Díaz-Zorita, M., M. Barraco & C. Alvarez.** 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. Ciencia del Suelo 22: 11-18.
- Doan V., Y. Chen & B. Irvine.** 2005. Effect of residue type on the performance of no-till seeder openers. Canadian Biosystems Engineering.47: 2.29 - 2.35

- Erbach, D.C., R.M. Cruse, T.M. Crosbie, D.R. Timmons, T.C. Kaspar & K.N. Potter.** 1986. Maize response to Tillage-Induced Soil Conditions. Transactions of the ASAE, 29 (3):690-694
- Faganello, A. & A.U. Dallmeyer.** 1990. Avaliação de surcadores para semeadura directa. Rev. Centro de Ciencias Rurais, Santa Maria, 20(3-4): 231-245.
- Fey, E. ; Santos, S.; Weirich Neto, P.; Pereira, J.** 2001. Rendimento de milho (Zea mays L.) utilizando 3 mecanismos sulcadores na semeadura, com 3 teores de água do solo, em plantio direto. Apresentação no XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001
- Fielke J.M. & D.A. O'Driscoll.** 1986. Comparison testing to evaluate coulter Wheel performance. En Conference on Agricultural Engineering. Adelaide. The Institution of Engineers, Australia. 1: 52-56
- Forsythe, W.** 1975. Física de Suelo. Manual de laboratorio. (ISBN 92-9039-052-2). San José IICA. Libros y Materiales Educativos 25, 212 pp.
- Franco, M.F. & P.A. Arrúa.** 2007. Rigidez y resistencia de suelos limosos con propiedades mecánicas aleatorias. En: Mecánica Computacional Vol XXVI., Elaskar S.A., Pilotta, E.A. & Torres G.A. (Eds) Córdoba, Argentina, Octubre 2007. pp. 2513-2532.
- Fundamentos Ley sudoeste 13647** Disponible en [http://www.maa.gba.gov.ar/2010/dir\\_econo\\_rural/plan\\_des\\_sudoeste.php](http://www.maa.gba.gov.ar/2010/dir_econo_rural/plan_des_sudoeste.php).  
Último acceso: marzo del 2011.
- Gargicevich, A.L. & J.R. Maroni.** 1997. Efecto sobre la humedad del suelo de diferentes abresurcos y tapasurcos de sembradoras para siembra directa de soja. En: Para mejorar la producción. Soja campaña 1995/96. INTA Oliveros pp. 27-40.
- Gerber, W.A., G.C. Misener, & A.J. Campbell.** 1994. An instrumentation system for the measurement of performance parameters of a no-till seeder. Canadian Agricultural Engineering. Vol. 36 (2): 79-84.
- Glave, A. E.** 1975. Caracterización física y económica de la región semiárida bonaerense. C. I. C. La Plata, Informe N°9. 31 pp.
- Godwin, R.J. & M.J. O'Dogherty.** 2007. Integrated soil tillage force prediction models. Journal of Terramechanics 44 (1): 3–14.

- Gray, A.G. & D. Macintyre**, 1983. Soil penetration by disc coulters of direct drills. *Agricultural Engineer* 38 (4): 106-110.
- Great Plain**. 2014. Disponible en: <http://greatplainsmfg.com>. Ultimo acceso: Septiembre 2014
- Håkansson, I., A. Myrbeck, & A. Etana**. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil & Tillage Research* 64 (1): 23–40.
- Håkansson, I., T. Rydberg, T. Keller & J. Arvidsson**. 2011. Effects of seedbed properties on crop emergence: 3. Effects of firming of seedbeds with various sowing depths and water contents. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science*, 61 (8): 701-710.
- Hendrick, J.G. & W.R. Gill**. 1971. Rotary-tiller design parameters. Part I. Direction of rotation. *Transactions of the ASAE* 14 (4): 679–683.
- Hetz, E.J. & A.I. Barrios**. 1997. Reducción de costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas en chile. *Agro-ciencia* 13 (1): 41-47.
- Huijsmans, J.F.M., J.G.L Hendriks & G.D. Vermeulen**, 1998. Draught requirement of trailing-foot and shallow injection equipment for applying slurry to grassland. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71 (4): 347-356.
- Iqbal M., S.J., Marley, D.C. Erbach & T.C. Kaspar**. 1998. An evaluation of seed furrow smearing. *Transactions of the ASAE* 41 (5): 1243-1248.
- Karayel, D. & E. Šarauskis**. 2011. Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. *Agricultural Engineering. Research Papers* 43 (3):16-24.
- Kepner, R.A., R. Bainer & L.E. Barger**. 1982. *Principles of Farm Machinery*. Third Edition The Avi Publishing Company. Inc. Westport Connecticut, pp: 180-182.
- Kirby, J.M. & P.D. Ayers**. 1993. Cohron sheargraph data: interpretation using critical state soil mechanics. *Soil & Tillage Research* 26 (3): 211–225.
- Kushwaha, R.S., A.S. Vaishnav & G.C. Zoerb**. 1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no till crop residue conditions. *TRANSACTIONS of the ASAE* 29 (1): 40-45.
- Lawson, P., J. Desbiolles & M. Ashworth**. 2011. Dishing up the dirt on discs. *Farming Ahead* January 2011 No. 228.

- Lindstrom, M.H, R.I. Papendick & E.F. Koeheler.** 1976. A model to predict winter wheat emergence as affected by soil temperature, water potential and depth of planting. *Agronomy Journal* 68 (1): 137-141.
- Mamman, E. & K.C. Oni.** 2005. Design and operating effects of parameters on draught of model chisel furrowers in an artificial soil. *Journal of Agricultural Engineering and Technology* 13: 4-17.
- Maroni, J.R., A. Fernandez Asenjo, A. Gargicevich, L. Repetto & C. González.** 2005. Velocidad de emergencia del maíz prestaciones de diferentes órganos para el contactado de semilla-suelo durante la siembra. En: *Actas del VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural*. 9 al 12 de noviembre 2005. Villa de Merlo, San Luis. AR. pp. 9-14.
- Maroni, J.R.** 1994. Máquina sembradora para siembra directa. Consideraciones para su puesta a punto. Artículo Técnicos PAC II. Serie Maquinaria Agrícola nº 3. 12p.
- Massey Ferguson®.** Disponible en:  
<http://masseyferguson.com.br/produtos/implementos/plantadeiras-e-semeadeiras> .Último acceso: junio 2015.
- Massote Pereira, D., C. Angeli Furlani, R. Pereira Da Silva, A. Lopes & A. De Toledo.** 2008. Maize hybrids for silage x speed in the displacement of a seeder-drill. CIGR - International Conference of Agricultural Engineering. XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Brazil, August 31 to September 4, 2008. 6 pp.
- McLaughlin, N.B., Y.X. Li, S. Bittman, D.R. Lapen, S.D. Burt & B.S. Patterson.** 2006. Draft requirements for constraining liquid manure injection equipment. *Canadian Biosystems Engineering* 4: 2.29-2.37.
- Metzger, B.** 2009. Bourgault Tillage Tools and Various Opener Field Draft and Soil Bin Comparison Tests. F. P. Bourgault Tillage Tools Ltd. Disponible en:  
[http://tillagetools.com/uploaded\\_file/Agtech\\_Draft\\_Test\\_Nov\\_09.pdf](http://tillagetools.com/uploaded_file/Agtech_Draft_Test_Nov_09.pdf). Último acceso: Septiembre del 2013.
- Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires.** 2002. Censo Nacional Agropecuario 2002. Disponible en: <http://ec.gba.gov.ar/estadistica/cuadros/primar/cna/datos.htm>. Último acceso: Octubre 2013.

- Miranda, R.** 2010. Agricultura en la región semiárida. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27602/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27602/Documento_completo.pdf?sequence=1) Último acceso: Octubre del 2013. pp 279-284
- Modernel da Silveira, J., H. Fernandes, A. Modolo, S. Silva & E. Trogello** 2011. Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. *Rev. Ceres, Vicosa* .58 (3): 293-298.
- Morello J. & O.T. Solbrig.** 1997. Argentina Granero del Mundo. ¿Hasta Cuando?. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, 280 pp.
- Morrison J., J. Hendrick, R. Schafer.** 1996. Soil forces on coulter and disc-opener combinations. *TRANSACTIONS of the ASAE* 39(2): 369-376.
- Morrison, J.E.,** 2002. Compatibility among three tillage systems and types of planter press wheels and furrow openers for vertisol clay soils. *Appl. Eng. Agric.* 18 (3) 293–295.
- Murray, J.R., J.N. Tullberg & B.B. Basnet.** 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. *ACIAR Monograph No.121* 171 pp.
- Nasr H.M. & F. Selles.** 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil & Tillage Research* 34 (1 ):61-76.
- Nieuwenburg, P.I .J.J.. L. Speelman & H.E. Wensink .** 1992. An evaluation of some disk coulter designs. *Journal of Agricultural Engineering Research* 51 (1): 67–80.
- Oliveira Dias V.** 2009. Desempenho de dois prototipos de semeadoras-adubadoras para plantio directo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola 80 pp.
- Oskoui, K.E., D.H. Rackham, & B.D. Witney.** 1982. The determination of plough draught—Part II. The measurement and prediction of plough draught for two mouldboard shapes in three soil series. *Journal of Terramechanics* 19 (3):153-164.



- Panigatti, J.L., D. Buschiazzi & H. Marelli.** 2001. Siembra Directa II. Ediciones INTA. 377 pp.
- Payne P.J.C. & D.W. Tanner,** 1959. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. *J. Agric. Engng. Res.* 4: 312-325.
- Perdok, U.D. & J.K. Kouwenhoven.** 1994. Soil-tool interactions and field performance of implements. *Soil and Tillage Research.* 30 (2-4): 283-326.
- Perfect, E. & N.B. McLaughlin.** 1996. Soil management effects on planting and emergence of no-till corn. *Transactions of the ASAE.* 39 (5): 1611-1615.
- Pochat F. & O. Pozzolo.** 2000. Evaluación de dos abresurcos. Disco simple vs. disco doble descentrado para sembradora directa en vertisoles In: *Avances en Ingeniería Agrícola.* Ed. de la FAUBA, pp. 56-61.
- Pozzolo, O & H. Ferraris** 2007. Maquinaria utilizada en arroceras. En *Eficiencia de Cosecha y Poscosecha. Manual Técnico N° 5.* Pozzolo, O & H. Ferrari (eds). Ediciones INTA. INTA PRECOP EEA Concepción del Uruguay, Concepción del Uruguay. 186 pp.
- Rahman S. & Y. Chen.** 2000. Laboratory investigation of cutting force and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil & Tillage Research* 58 (1-2):19-29.
- Righes, A.A., A.S. Centeno, A. U., Dallmeyer, D. Ribeiro Silveira, I.S. Farret, J. Pozzera, O. Oliveira Ferreira, P.E. Castro & T.C. da Silvera.** 1990. Semeadura Direta. Comparação entre diferentes mecanismos sulcadores. Monografia 4. NSI/MA; IPT; CIENTEC; CEBRAE. 31 pp.
- Riley T.W. & J.M. Fielke.** 1990. Evaluation of coulter wheels. In *Asia-Pacific Regional Conference on Engineering for the development of Agriculture.* Nordin Ibrahim Editors. 1: 33-42
- Romito, A., J.P. D'Amico, D. Paredes, M. Roba, G. Loyde, M. Casartelli & M.O. Tesouro.** 2011. Cuchillas de corte primario: Efecto de la profundidad de trabajo sobre la implantación de trigo. (*Triticum aestivum* L.) Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/cuchillas-de-corte-primario-efecto-de-la-profundidad-de-trabajo-sobre-la-implantacion-de-trigo-triticum-aestivum-l/>. Ultimo acceso en septiembre del 2013.

- Ron, M.M. & T. Loewy.** 1990. Fertilización fosforica del trigo en el sudoeste bonaerense. I. Modelos de la respuesta. Ciencia del suelo. 8 (2): 187-194.
- Salford.** 2013. Seeding and fertilizing. Disponible en: <http://salfordgroup.com>. Ultimo acceso: Septiembre 2014. 28 pp.
- Sanavi Shiri, N. & M.H. Raoufat.** 2006. Comparative performance of four planter furrow opener and row cleaner arrangements in a conservation tillage corn production system. Iran Agricultural Research, 24(2) Vol. 25 (1): 63-65.
- Sánchez-Girón, V.** 1996. Dinámica y mecánica de suelos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, 426 pp.
- Sánchez-Girón, V., J.J. Ramírez, J.J. Litago & J.L. Hernanz.** 2005. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. Soil & Tillage Research 81 (1): 25–37.
- Schaaf, D.E., S.A. Hann & C.W. Lindwall.** 1981. Performance evaluation on furrow openers, cutting coulters and press wheels for seed drills. Crop Production with Conservation in the 80's. Transactions of the ASAE 49085. St. Joseph MI pp: 76-84.
- Sebalt, W.A.** (2002). Relación agricultura-ganadería en la zona semiárida de la región pampeana, área comprendida por los partidos de Villarino, Patagones y sur de Puán como alternativas para optimizar la empresa agropecuaria. Tesis de Maestría inédita en Administración. Departamento de Ciencias de la Administración. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 231pp.
- Seidi, E. S.H. Abdollahpour, A. Javadi & M. Moghaddam.** 2010. Effects of Novel Disk-type Furrow Opener Used in No-Tillage System on Micro Environment of Seed American Journal of Agricultural and Biological Sciences 5 (1):1-6.
- Silenzi, J.C., N.E. Echeverría, M.E. Bouza & M.P. DeLucía.** 2009 The wind erosion cost in the south west of Buenos Aires province. Drylands Science for Development (DSD). United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Disponible en: [http://dsd-onsortium.jrc.ec.europa.eu/documents/Poster\\_Session\\_Abstract\\_Book.pdf](http://dsd-onsortium.jrc.ec.europa.eu/documents/Poster_Session_Abstract_Book.pdf). pp: 29-30. Último acceso Agosto del 2012.
- Soza, E., M. Tourn, G. Botta & J. Smith.** 2003. Siembra directa y convencional de trigo (*Triticum aestivum* L.) Eficiencia de implantación con relación a la

- compactación del suelo al momento de la siembra. Agrociencia 2003. Disponible en: <http://maqagro.unlu.edu.ar/Agrociencia%202003.pdf>. Último acceso: septiembre del 2013.
- Srivastava, A.J., C.E. Goering & R.P. Rohrbach.** 1993. Engineering Principles of Agricultural Machines. American Society of Agricultural Engineers St. Joseph Michigan, p.151.
- Staggenborg S.A., R.K. Taylor & L.D. Maddux.** 2004. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. Applied Engineering in Agriculture 20(5): 573–580.
- Terminiello, A., R. Balbuena, J. Claverie & P. Mac Donagh.**1997. Efecto de adición de cuchillas circulares sobre escarificadores de cincel. Agro-Ciencia 13 (3): 331-335.
- Tesouro O., J. D´Amico, D. Paredes, A. Romito, M. Roba & S. Duro** 2009. Efectos de diferentes diseños de cuchillas de corte primario en la implantación de trigo en siembra directa. Informe técnico de siembra N°3. Tesouro O. (Ed.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 7 pp.
- Tesouro O., E. Benito, M. Roba, A. Romito, D. Paredes, & J. D´Amico.** 2010. Surcadores para siembra directa: Análisis de eficiencia comparativo entre diseños monodisco y bidisco en un cultivo de trigo. (*Triticum aestivum* L.). Informe técnico de siembra N°15. Tesouro O. (Ed.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 54 pp.
- Tessier S., K.E. Saxton, R.I. Papendick & G.M. Hyde.** 1991. Zero-tillage furrow opener effects on seed environment and wheat emergence. Soil & Tillage Research 21: 347-360.
- Thompson, C.** 1993. The interactions between machine design and soil conditions influencing in-groove vertical seed placement by the bioblade direct drill. Thesis, Department of Agricultural Engineering, Massey University, Auckland, New Zeland.
- Tice, E.M. & J.G. Hendrick.** 1992. Disc coulter operating characteristics. Transactions of the ASAE 35 (1): 3-10.
- Tompkins, E.D.** 1985. Conservation tillage equipment. In: Equipment for no-tillage crop production. Proceedings of the Southern Region No-till Conference. July

16-17,1985, Griffin, Georgia Hargrove, W. L., F.C. Boswell & G. W. Langdale  
Ed. pp. 3-9

**Tola, E. & J. Desbiolles.** 2009. Performance of disk blades in zero tillage context:  
Part 1: Rolling Coulter Configurations. ISTRO 18 Triennial Conference  
Proceedings, Junio 15-19, 2009 Izmir-TURKEY. 14 pp.

**Tourn, M., E. Soza, R. Hidalgo & R. Di Marco.** 2003. Emergencia de soja de  
segunda sobre trigo en siembra directa. Parte II: Efecto de la velocidad de  
avance. Agrotecnia 11: 30-36.

**Vaishnav A.S.** 1983. Evaluation of disc coulters for a zero till system. M.Sc. Thesis.  
Department of Agricultural Engineering, University of Saskatchewan.  
Saskatoon, Saskatchewan, 125 pp.

**Vamerali T., M. Bertocco & L. Sartori.** 2006. Effects of a new wide-sweep opener  
for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize  
(*Zea mays*, L.): A comparison with double-disk opener. Soil & Tillage  
Research 89 pp. 196–209

**Wilkins D.E., G.A., Muilenburg, R.R. Allmaras & C.E. Johnson.** 1983. Grain-Drill  
Opener Effects on Wheat Emergence TRANSACTIONS of the ASAE- 1983 26  
(3): 0651-0655.